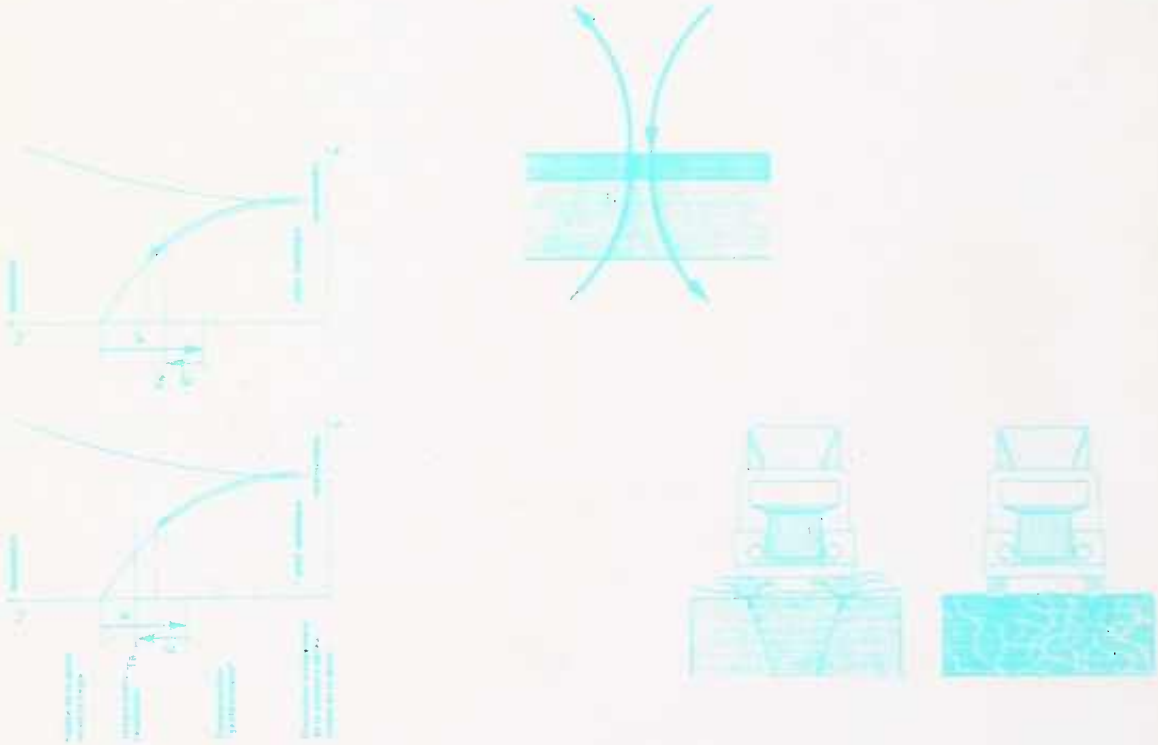
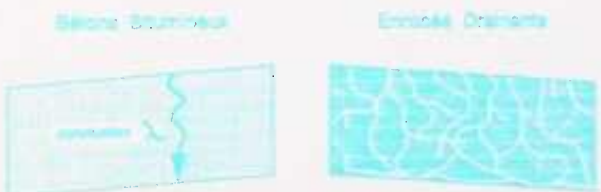
comprendre le comportement hivernal des enrobés drainants



GUIDE TECHNIQUE



SETRA

LCPC

Comprendre le comportement hivernal des enrobés drainants

Guide pédagogique

Octobre 1993

Document réalisé par :

le CENTRE D'ETUDES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT DE L'EST
1, boulevard Solidarité - B. P. 5230 - 57076 Metz Cedex 03 - France
Tél. : (1) 87 20 43 00 - Télécopie : (1) 87 20 46 99

et diffusé par :

le LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES
58, boulevard Lefebvre - 75732 Paris Cedex 15 - France
Tél. : (1) 40 43 50 00 - Télécopie : (1) 40 43 54 98

le SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92223 Bagneux Cedex - France
Tél. : (1) 46 11 31 31 - Télécopie : (1) 46 11 31 69

DOCUMENT ELABORE PAR LE C.E.T.E. DE L'EST

* Jean LIVET
Laboratoire Régional de Nancy
Unité Viabilité hivernale, Gel

* Jean-Jacques ROUSSEL
Département Structures de Metz
Groupe Viabilité hivernale

COMPRENDRE LE COMPORTEMENT

HIVERNAL

DES ENROBES DRAINANTS

Ce guide pédagogique est destiné aux gestionnaires qui sont ou seront conduits un jour à entretenir en hiver des réseaux revêtus d'enrobés drainants.

Le comportement thermohydrique très spécifique de ces revêtements rend différent leur comportement hivernal et délicat leur suivi et leur traitement.

La qualité de la viabilité offerte à l'usager dépend donc d'une bonne compréhension des phénomènes et de l'analyse fine des situations météo routières.

Ce document nécessite pour sa compréhension un certain nombre de prérequis qui seront trouvés dans les guides pédagogiques :

- Saler moins - saler mieux,

- Verglas - mode d'emploi.

SOMMAIRE

CHAPITRE I – LA CHAUSSEE DANS SON ENVIRONNEMENT ECHANGES D'ENERGIE AVEC LE MILIEU

1.1 - LE MOTEUR DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE CHAUSSEE

1.2 - LES MODES DE TRANSFERT DE L'ENERGIE A LA SURFACE DE CHAUSSEE

1.3 - ECHANGES THERMIQUES PAR CONDUCTION

1.4 - ECHANGES THERMIQUES PAR CONVECTION

1.5 - ECHANGES THERMIQUES PAR RAYONNEMENT

1.6 - CHANGEMENT D'ETAT DE L'EAU

CHAPITRE II – LA CHAUSSEE REVETUE D'UN ENROBE DRAINANT OU D'UN BETON BITUMINEUX, COMPARAISON DES PROPRIETES PHYSIQUES

2.1 - LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

2.2 - LA CONVECTION

2.3 - LE RAYONNEMENT

2.4 - LA TEMPERATURE DE SURFACE D'UN ENROBE DRAINANT - EFFETS COMBINES DES TROIS MODES DE TRANSFERT

2.5 - LA FONCTION "ECHANGEUR THERMIQUE"

2.5.1. - Les enrobés drainants sous précipitations
2.5.2. - Les enrobés drainants sous trafic

2.6 - LA FONCTION STOCKAGE EN CHALEUR LATENTE DE FUSION

2.7 - RUISSELLEMENT - DRAINAGE APRES PRECIPITATIONS

2.8 - TEMPS DE SECHAGE DES SURFACES ROUTIERES

2.8.1 - Séchage sous circulation
2.8.2 - Séchage sans circulation

CHAPITRE III - COMPORTEMENT COMPARE D'UN ENROBE DRAINANT ET D'UN BETON BITUMINEUX SOUS DIVERS PHENOMENES METEOROLOGIQUES

3.1 - LES ENROBES DRAINANTS PAR CIEL CLAIR ET DEGAGE

3.1.1 - Le cas de la surface de chaussée sèche à température négative
3.1.2 - Le cas de la surface de chaussée humide

3.2 - LES ENROBES SOUS PRECIPITATIONS HIVERNALES

3.2.1 - La pluie
3.2.2 - La pluie et neige mêlées
3.2.3 - La pluie en surfusion
3.2.4 - La neige
+ la neige sèche
+ la neige humide
+ la neige mouillée

CHAPITRE IV - COMPORTEMENT COMPARE DES DIVERS FACTEURS DU SERVICE HIVERNAL

4.1 - LA SURVEILLANCE

4.1.1 - Caractérisation de l'état de surface
4.1.2 - Connaissance de l'humidité piégée
4.1.3 - Température de surface, comment la déterminer ?
4.1.4 - Salinité de surface et à coeur du revêtement, comment la déterminer ?

4.2 - LE PREVENTIF

4.2.1 - La prise de décision
4.2.2 - Le choix technique
4.2.3 - L'entraînement des fondants sur enrobés drainants

4.3 - CONSEQUENCE THERMOHYDRIQUE DE L'EMPLOI D'UN FONDANT SUR UN REVETEMENT VERGLACE

4.4 - LE CURATIF VERGLAS

4.4.1 - Congélation d'humidité préexistante
4.4.2 - Givre
4.4.3 - Pluie verglaçante ou en surfusion
4.4.4 - Brouillard givrant

4.5 - LE CURATIF NEIGE

4.5.1 - La neige sèche
4.5.2 - La neige humide
4.5.3 - La neige mouillée

CHAPITRE V - QUELQUES PISTES POUR L'AMELIORATION DE LA VIABILITE HIVERNALE SUR ENROBES DRAINANTS

5.1 - L'ORGANISATION - SUIVI ET SURVEILLANCE

5.1.1 - Le suivi
5.1.2 - L'alerte
5.1.3 - La décision
5.1.4 - L'intervention
5.1.5 - Le suivi de l'intervention
5.1.6 - L'analyse du résultat

5.2 - L'ADAPTATION DES FONDANTS

5.2.1 - Le fondant idéal pour une application sur enrobé drainant existe-t-il ?
5.2.2 - Vers une granularité et une forme adaptée aux enrobés drainants
5.2.3 - Une viscosité des saumures répandues ou obtenues à la surface adaptée aux enrobés drainants

5.3 - UNE FORMULATION ET UNE MISE EN ŒUVRE DES ENROBES DRAINANTS RECONSIDEREES

5.4 - L'ADAPTATION DES OUTILS DE SUIVI

CHAPITRE VI - POUR EN SAVOIR UN PEU PLUS SUR LE SUJET

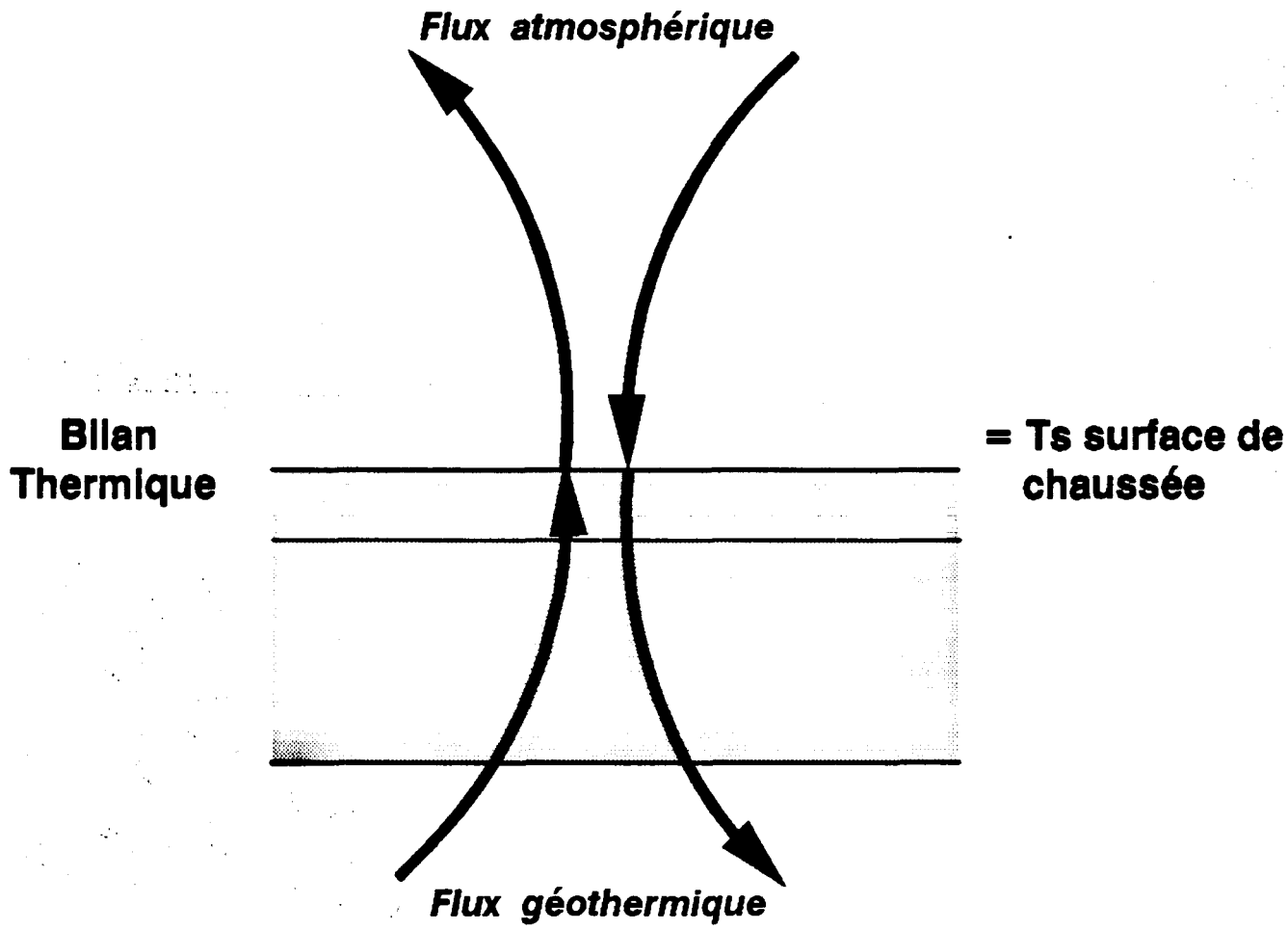
CHAPITRE I

LA CHAUSSEE DANS SON ENVIRONNEMENT

ECHANGES D'ENERGIE

AVEC LE MILIEU

EQUILIBRE THERMIQUE
A LA SURFACE DE LA CHAUSSEE



1.1 - LE MOTEUR DE LA TEMPERATURE DE SURFACE D'UNE CHAUSSEE

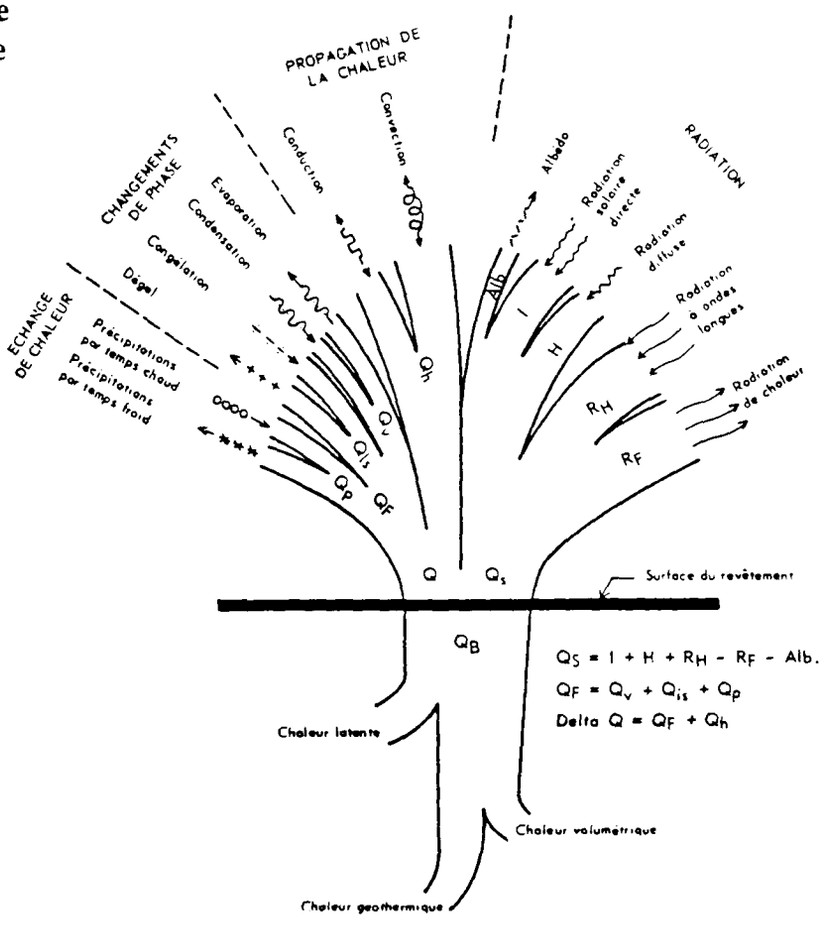
La surface d'une chaussée se situe à l'interface entre deux milieux :

- **l'atmosphère,**
- **la structure de la chaussée et le terrain naturel.**

Ces milieux échangent en permanence de l'énergie. Si la quantité d'énergie **"géothermique"** provenant du sol est relativement constante, celle qui provient de l'atmosphère varie de façon permanente, en étroite relation avec les conditions météorologiques du moment.

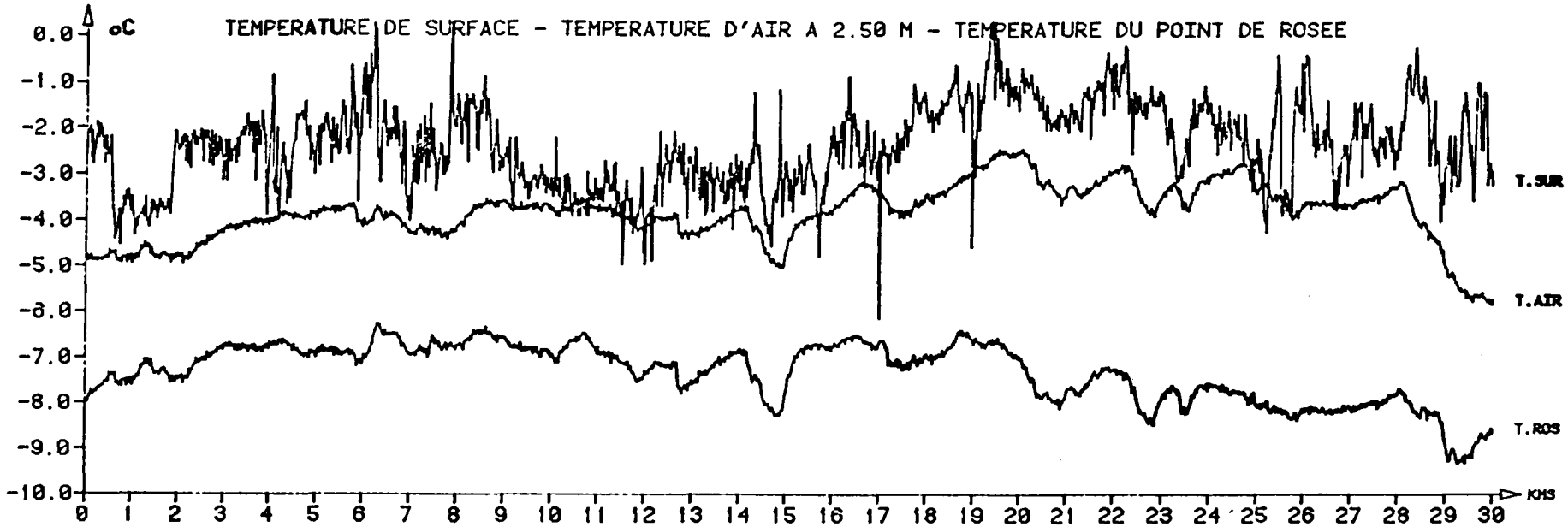
C'est le bilan de ces deux flux énergétiques qui pilote la température de surface de la chaussée

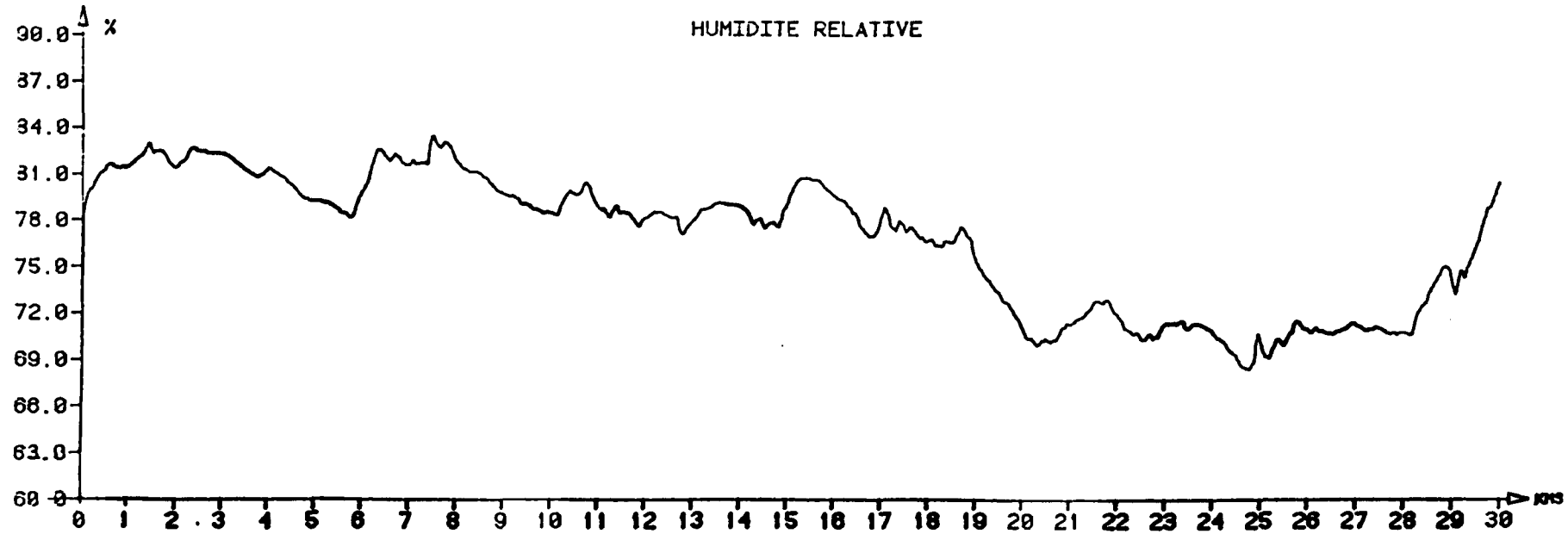
EQUILIBRE THERMIQUE A LA SURFACE DU REVETEMENT



THERMOROUTE

12 MARS 1987 NUIT





Ce bilan énergétique n'est malheureusement pas constant le long d'un itinéraire.

* L'environnement de la chaussée :

- la végétation,
- l'exposition, etc ...

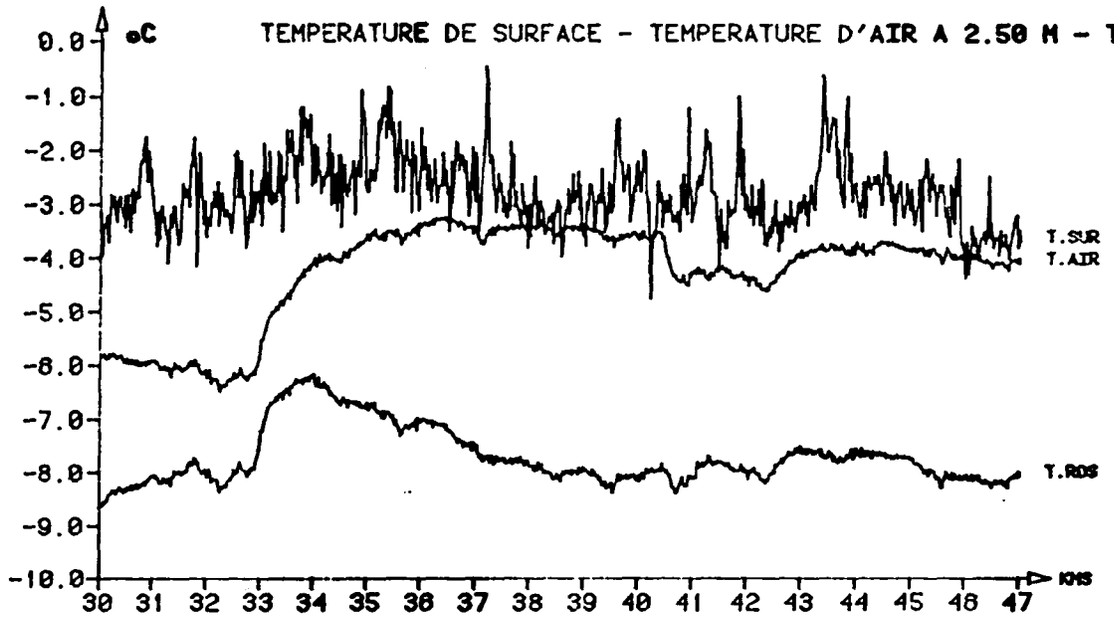
* La structure de la chaussée

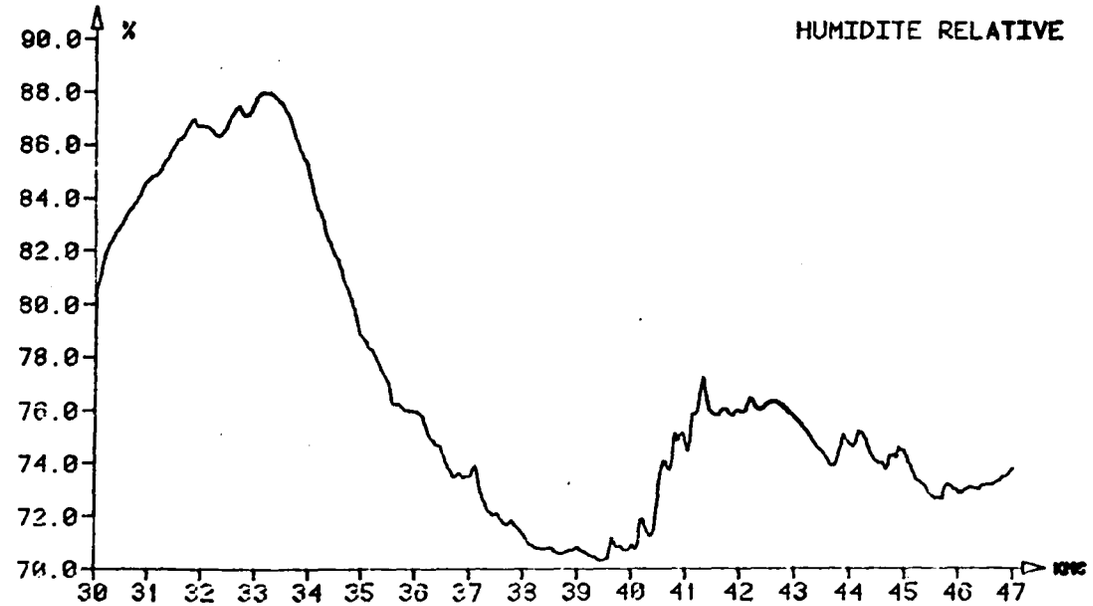
- nature des matériaux,
- compacité, teneur en eau,
- les ouvrages,
- la "couleur" de la surface,

sont autant de paramètres qui modifient localement ce bilan, qui **entraînent constamment des variations de la température de surface de chaussée.**

THERMOROUTE

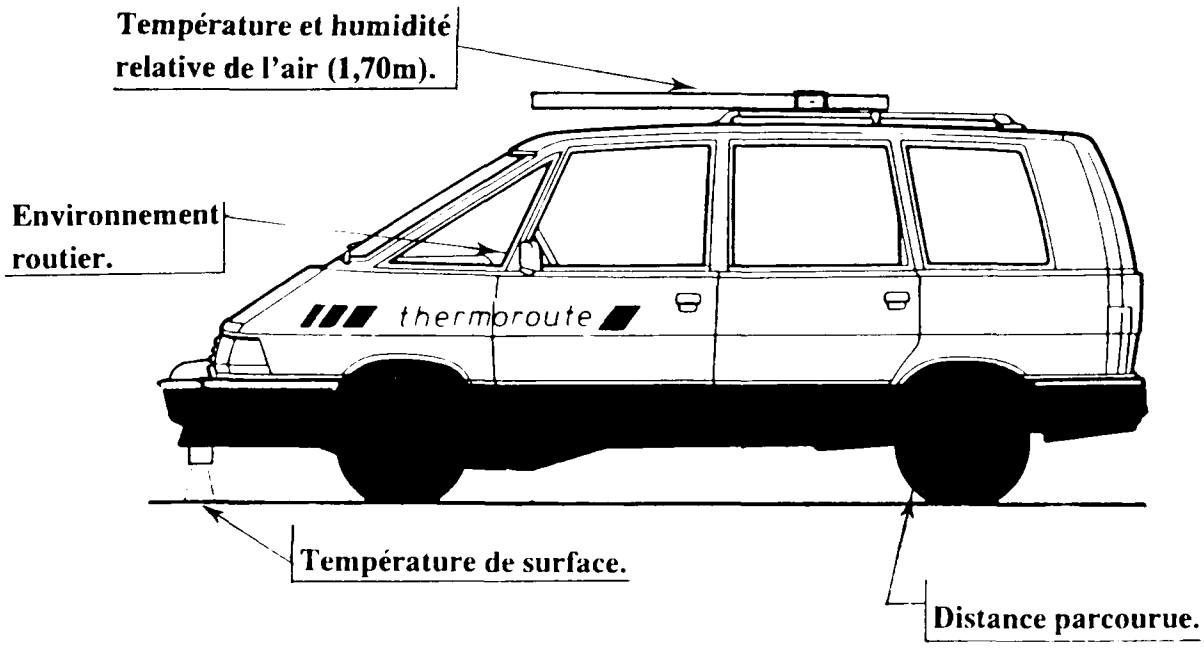
12 MARS 1987 NUIT





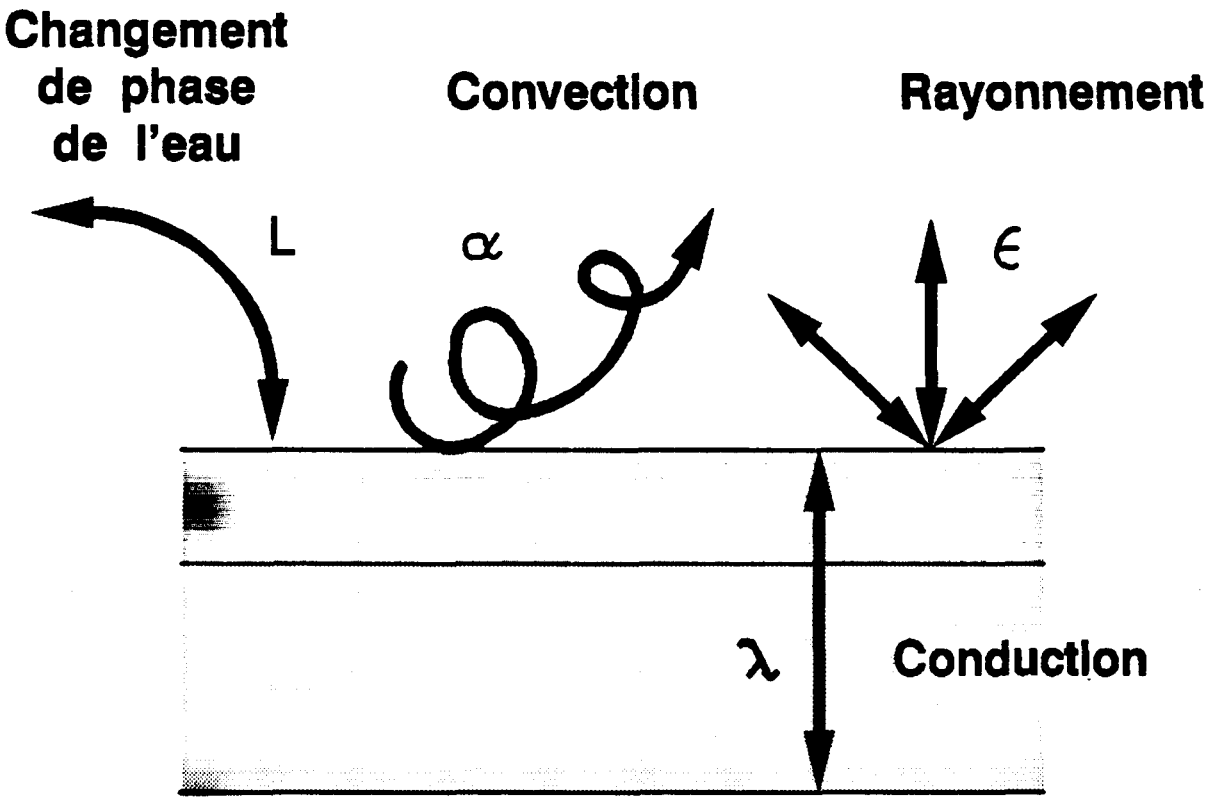
7a

La signature thermohydrique d'une route relevée avec le véhicule thermoroute,



illustre ces variations de la température de surface de chaussée dues aux :

- structures et revêtements différents,
- variations d'altitude,
- agglomérations,
- ouvrages,
- zones végétales.


Changement de phase de l'eau
Convection
Rayonnement
L
α
ϵ
λ
Conduction

1.2 - MODES DE TRANSFERT DE L'ENERGIE A LA SURFACE D'UNE CHAUSSEE

Les modes de transfert de l'énergie à la surface d'une chaussée s'effectuent par :

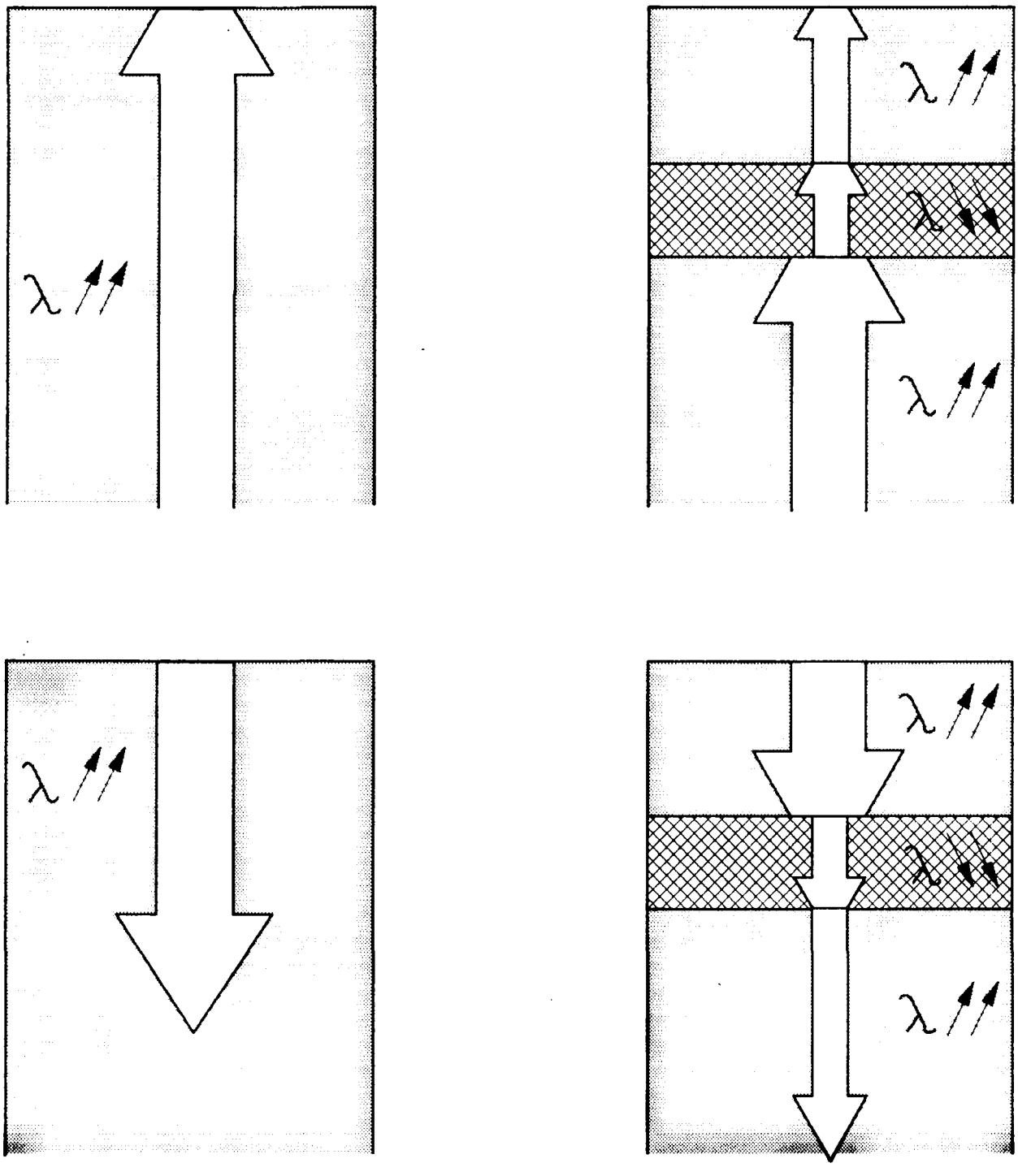
- **conduction** dans la structure,

- **convection** entre l'air ambiant et la surface de la chaussée,

- **rayonnement** à la surface.

Le milieu atmosphérique introduit un "mode de transfert" supplémentaire qui est lié aux **changements d'état de l'eau** en surface de chaussée : évaporation ou fusion - condensation ou congélation.

CONDUCTION



Couche "Isolante"

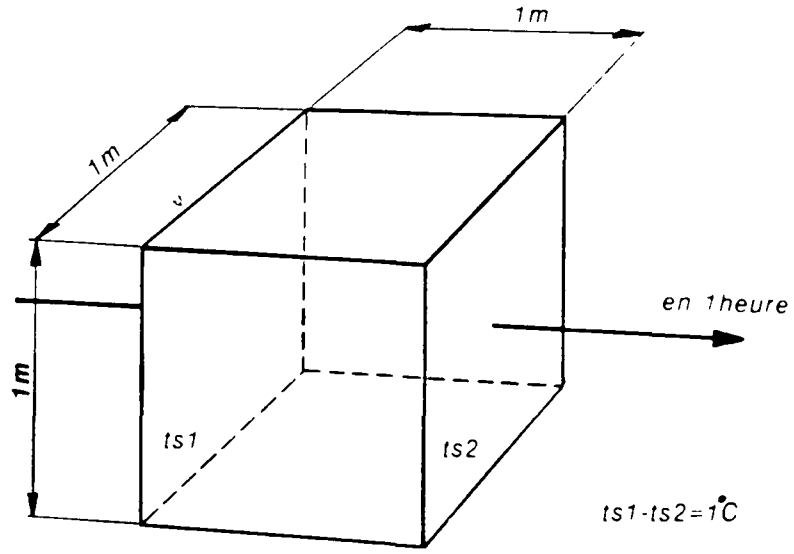
1.3 - ECHANGES THERMIQUES PAR CONDUCTION

La conduction est le phénomène par lequel la chaleur s'écoule à l'intérieur d'un solide, d'une région à haute température vers une autre à basse température.

La conduction est le mode de transfert principal de la chaleur dans la structure de chaussée.

La vitesse d'écoulement de la chaleur dépend des caractéristiques thermiques des matériaux et principalement de leur conductivité thermique.

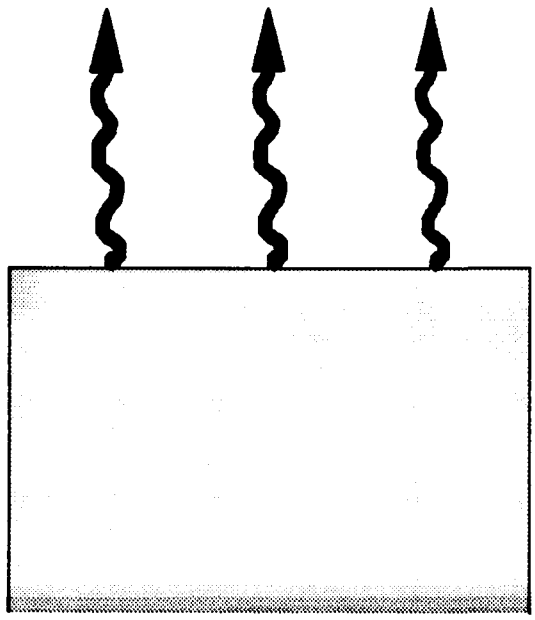
La conductivité thermique d'un corps est la quantité d'énergie traversant un mètre carré du corps considéré, pour un mètre d'épaisseur, par heure et pour une différence de température de 1°C entre les deux faces.



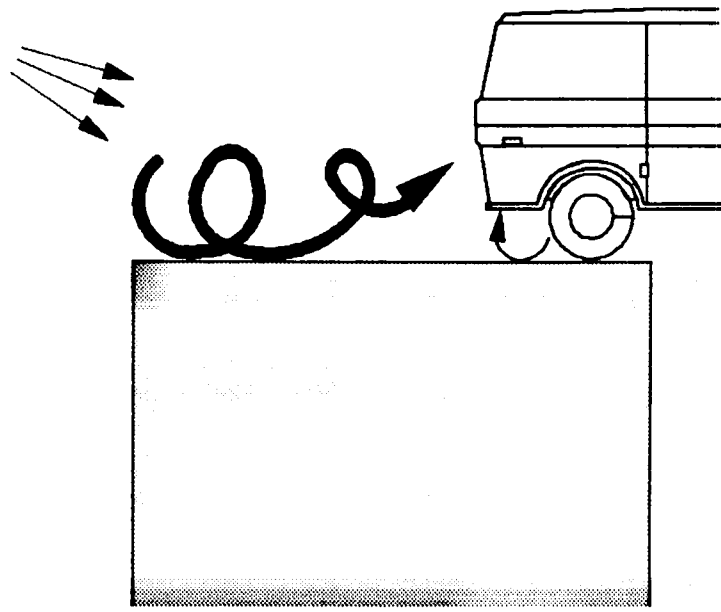
Quelques valeurs de conductivité en W/m °C :

grave laitier	~1,40	grave non traitée	~1,80
grave bitume	~1,90	béton bitumineux	~2,20
béton ciment	~1,80	enrobés drainants	~1,50
air	~0,024	quartzite	~6,04
eau	~0,56	glace	~2,21

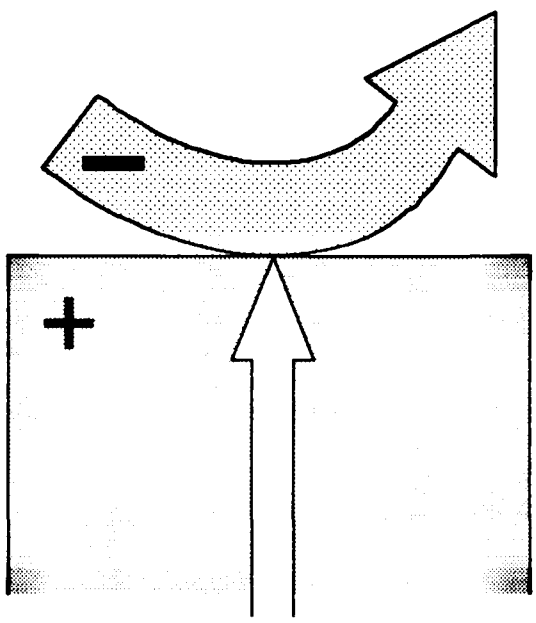
Plus une chaussée est dense (ou compacte), plus elle est conductrice, car elle possède peu de vides air ; c'est le cas des chaussées modernes. Les matériaux siliceux sont généralement plus conducteurs que les calcaires qui contiennent des micro-bulles d'air.

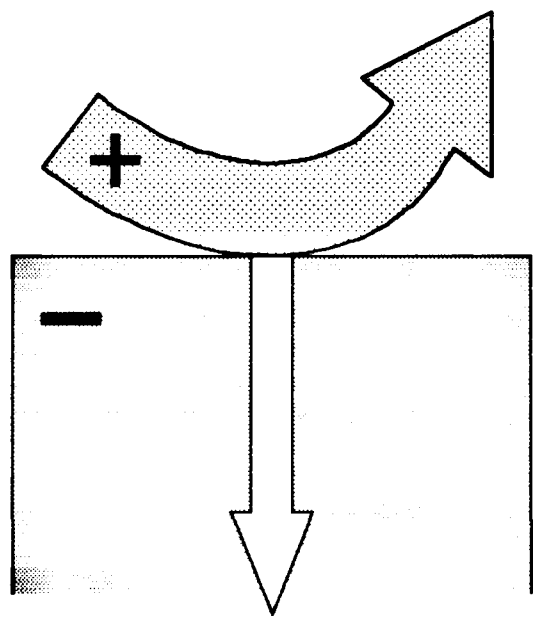


CONVECTION NATURELLE



CONVECTION FORCEE





1.4 - ECHANGES THERMIQUES PAR CONVECTION

La convection est le mode de transfert de la chaleur le plus important entre une surface solide et un fluide (liquide ou gazeux) ; c'est le cas des échanges entre la surface de la chaussée et l'atmosphère.

On peut distinguer deux modes de convection :

- **La convection libre ou naturelle** :

exemple : l'air qui vibre, en été au-dessus de la chaussée s'élève dans l'atmosphère en emportant de la chaleur prise au revêtement.

- **La convection forcée** :

Exemples :

* Le vent froid ou chaud transfère de la chaleur entre la chaussée et l'atmosphère. Il entraîne rapidement un équilibre entre les températures de l'air et de la surface de la chaussée.
* Le trafic plus ou moins important force l'air à lécher la surface routière.

Plus la surface de la chaussée est rugueuse, plus elle échange facilement de la chaleur par convection ; c'est le cas des enduits superficiels.

Plus la vitesse de l'air à la surface de la chaussée est importante, plus la quantité de chaleur échangée est importante.

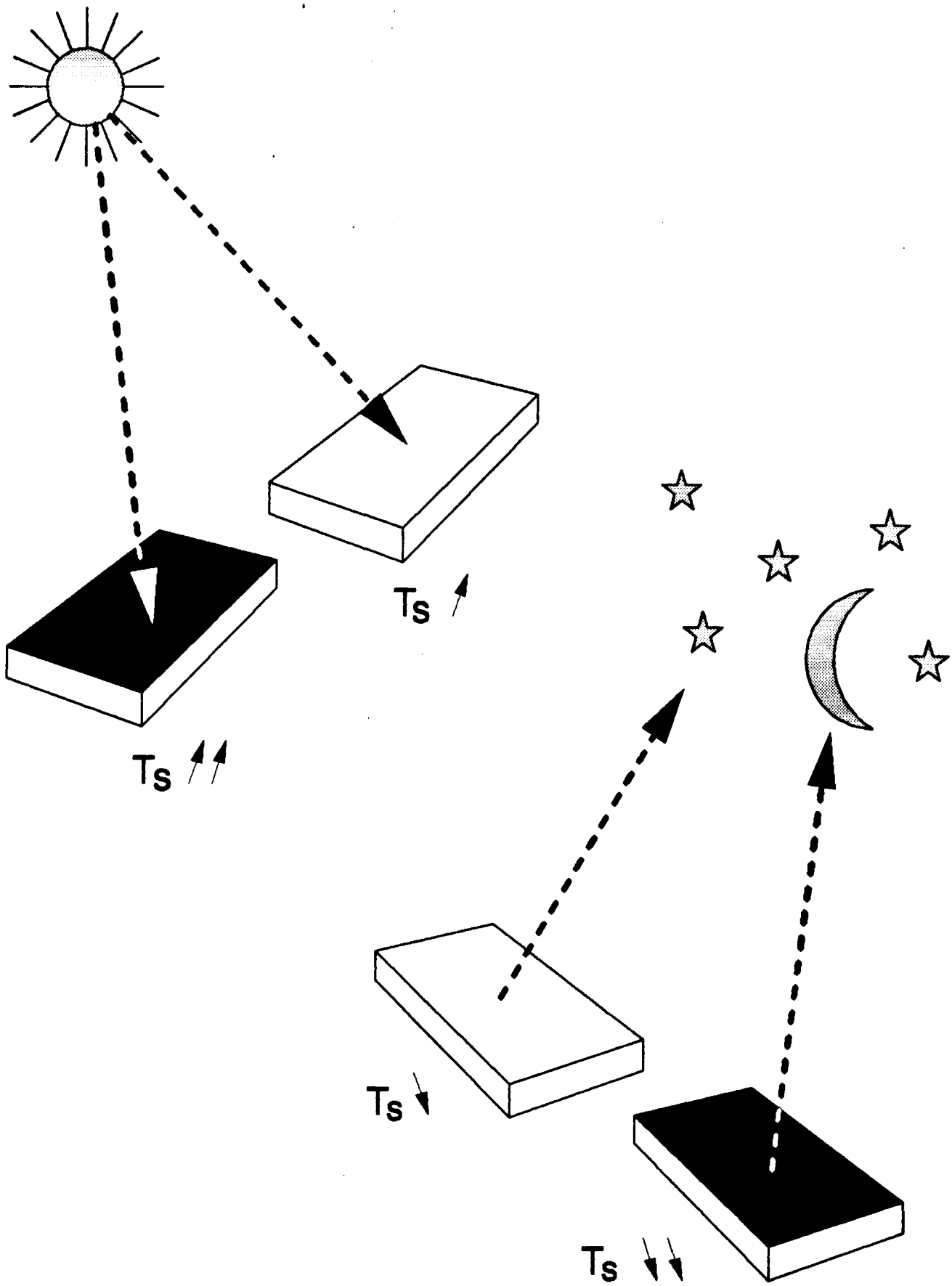
Plus les écarts de température entre les deux milieux (chaussée-atmosphère) sont importants, plus la quantité de chaleur échangée par unité de temps est importante.

Le coefficient d'échange thermique par convection (α) est la quantité d'énergie échangée par la surface d'un corps solide d'un m^2 en contact avec un fluide par heure et pour une différence de température de 1°C.

Il s'exprime en W/m^2 °C et dépend :

- des caractéristiques géométriques de la paroi,
- des caractéristiques du fluide (masse volumique, viscosité),
- de l'écoulement du fluide (vitesse, etc...).

α varie de :
- 2 à 200 pour les gaz
- 100 à 2000 pour les liquides


Ts
Ts
Ts
Ts

1.5 - ECHANGES THERMIQUES PAR RAYONNEMENT

Le rayonnement thermique est le mécanisme par lequel la chaleur est transmise d'un corps à haute température, vers un autre à basse température ; **c'est un rayonnement électromagnétique** (longueur d'onde comprise entre 0,1 et 100 µm). L'énergie rayonnante se propage **à la vitesse de la lumière** même si le vide existe entre ces deux corps.

Un exemple : le soleil réchauffe par son rayonnement la surface d'une chaussée qui absorbe cette énergie et voit sa température s'élever plus vite que celle de l'air ambiant.

Le **rayonnement thermique** est **plus ou moins absorbé par le milieu qu'il traverse.**

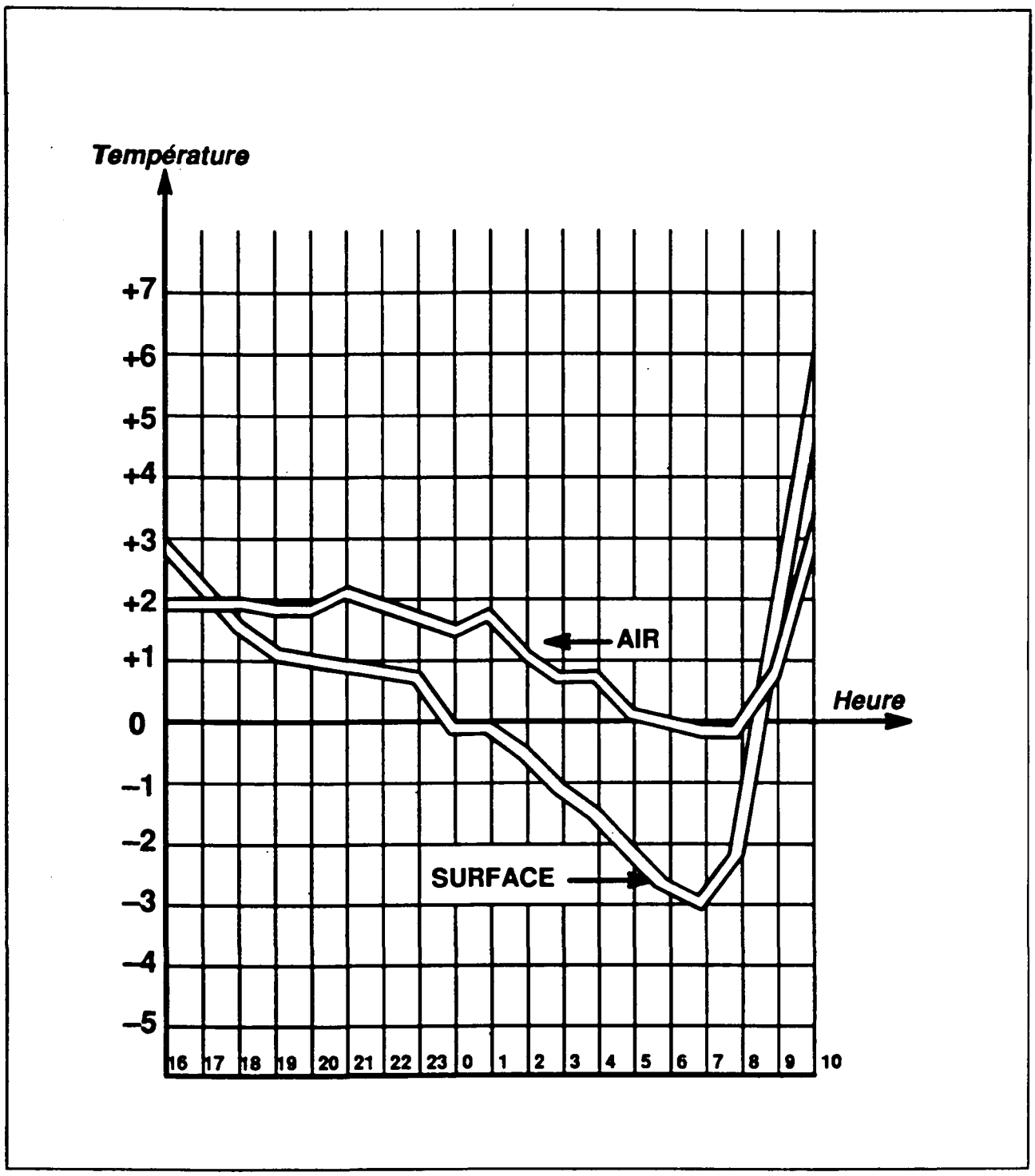
Un exemple : L'énergie solaire est partiellement absorbée avant de toucher le sol, par les différents gaz et vapeur d'eau composant l'atmosphère et les nuages.

La **chaleur rayonnée n'est que partiellement absorbée par la surface du corps exposé** à ce **rayonnement** . Par convention, on dit **qu'un corps qui absorbe tout le rayonnement est un corps noir (ou corps radiant intégral).**

Le rapport du pouvoir émissif (ou d'absorption) d'une surface réelle à celui du corps noir est appelé facteur d'émissivité (ε).

Quelques valeurs d'émissivité :

"corps noir"	1
neige	0,99
béton bitumineux neuf	0,98 (après quelques mois 0,95)
glace	0,97
eau	0,94
brique	0,91
béton de ciment	0,88
terre argileuse	0,64
granite polie	0,43

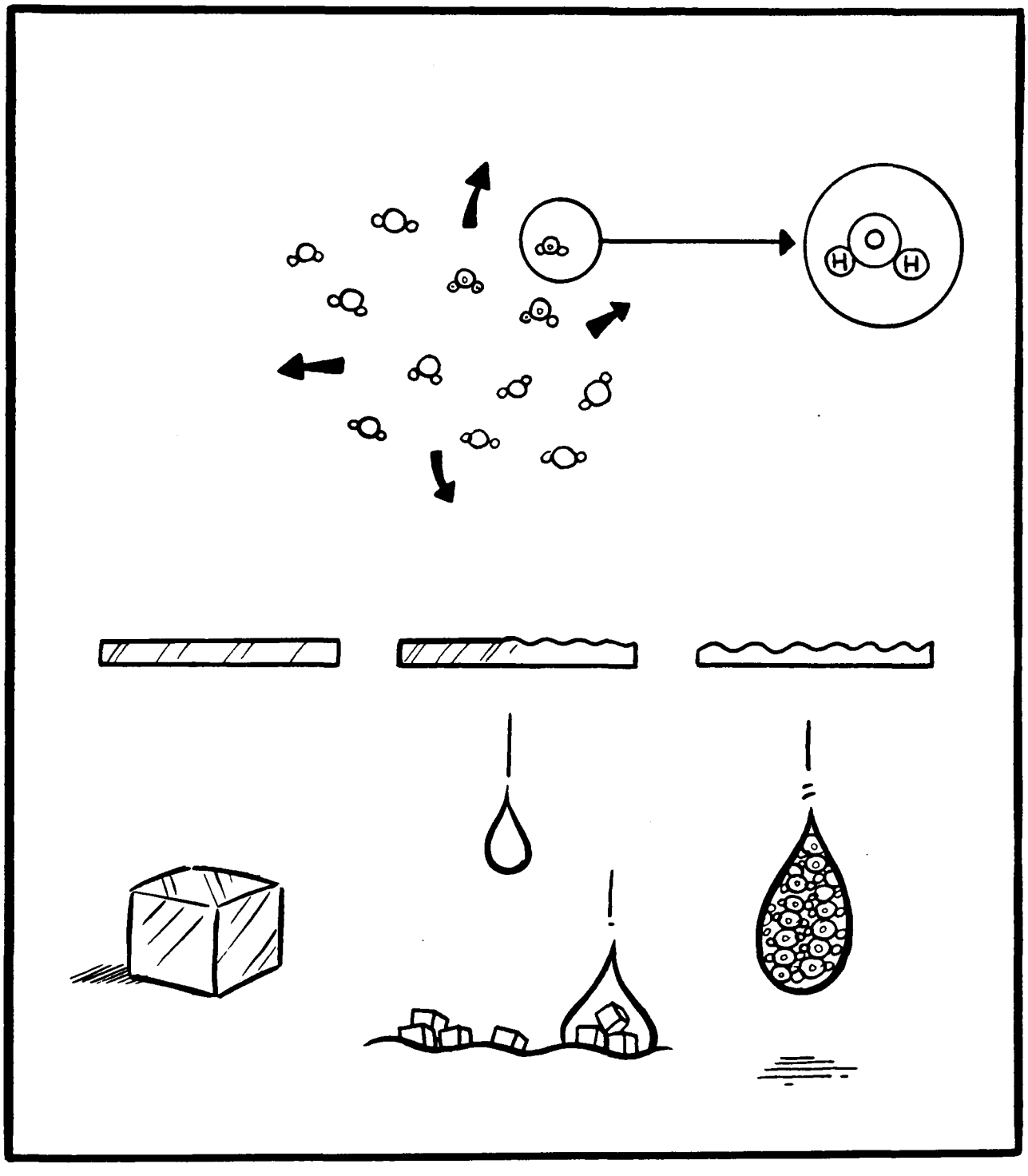

Température
+7
+6
+5
+4
+3
+2
+1
0
–1
–2
–3
–4
–5
AIR
SURFACE
Heure
16 17 18 19 20 21 22 23 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Tous les corps émettent continûment de la chaleur par rayonnement. La quantité de chaleur rayonnée est d'autant plus grande que l'écart de température est important.

La surface de la chaussée est en état de rayonner de la chaleur, principalement de nuit. Dans ce cas, la chaussée rayonne vers la voûte céleste dont on admet que la température est comprise entre -45 et -75°C. Ce rayonnement est alors d'autant plus important que le ciel est dégagé de tous nuages et que l'atmosphère contient peu de vapeur d'eau.

La température de la surface de chaussée peut alors s'abaisser très rapidement au point de devenir négative sans que l'air ambiant voit sa température varier significativement.

Des écarts de 3 à 4°C sont courants.


H
O
H

1.6 - CHANGEMENT D'ETAT DE L'EAU

On trouve l'eau dans la nature sous 3 états physiques différents.

La vapeur d'eau

Gaz invisible mêlé à l'air ambiant, à l'eau liquide ou à la glace.

Ce gaz contient une forte "énergie interne" liée à l'agitation de ses molécules. Cette agitation est très importante, car la vapeur d'eau a tendance à occuper tout le volume disponible.

L'eau liquide

Se forme dans les nuages (condensation due au refroidissement), tombe en pluie, s'écoule par le sol vers les mers, s'évapore (en vapeur d'eau) pour rejoindre les nuages.

"L'énergie interne" de l'eau est nettement plus faible que celle de la vapeur d'eau (l'agitation de ses molécules est plus faible).

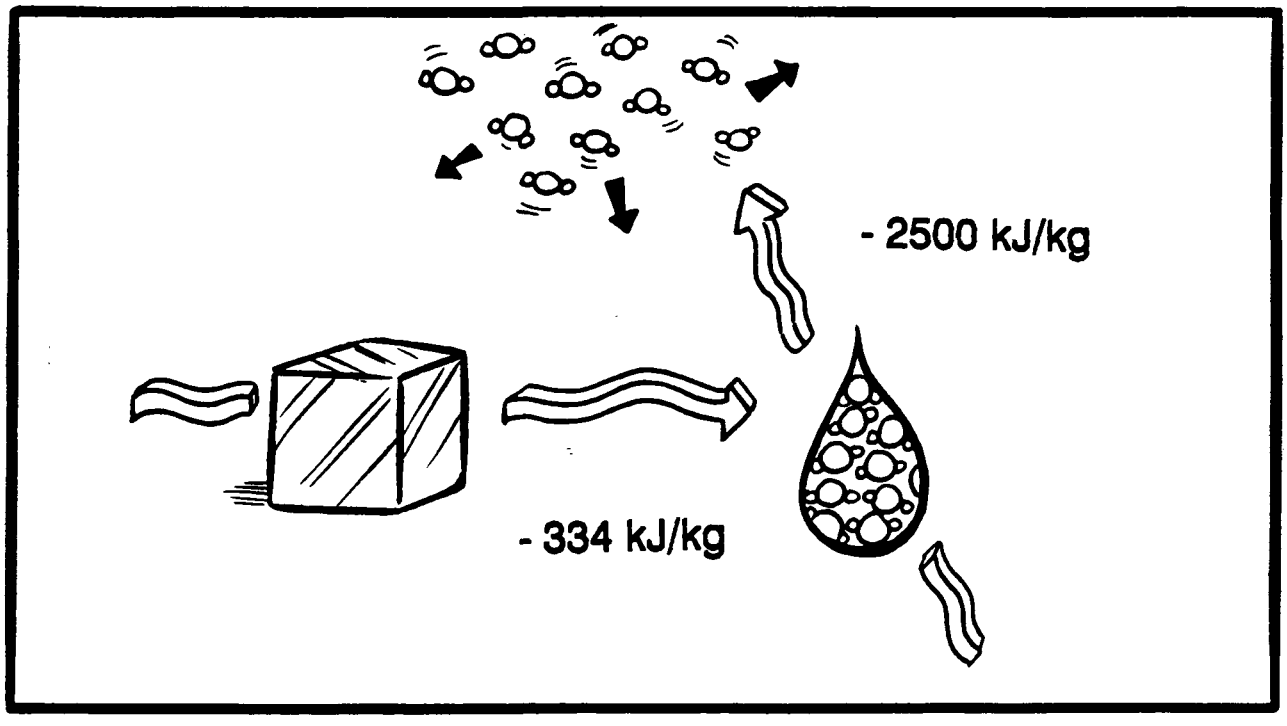
L'eau solide

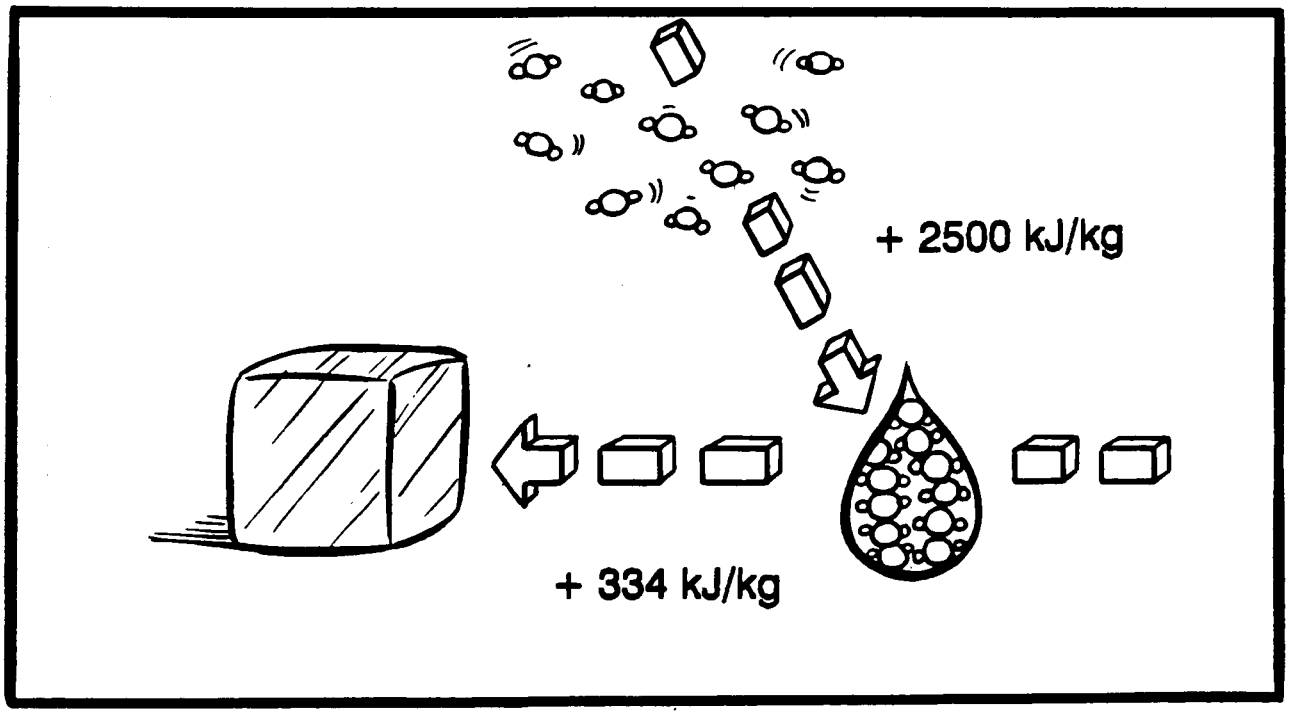
Prend diverses formes (neige, glace, grésil, grêle, verglas) selon le lieu et les circonstances de sa formation.

L'eau solide contient une "énergie interne" très faible (les molécules sont très soudées entre elles).

*

* *


- 2500 kJ/kg
- 334 kJ/kg


+ 2500 kJ/kg
+ 334 kJ/kg

L'eau en surfusion

Etat instable, à mi-chemin entre l'eau liquide et l'eau solide, l'eau en surfusion se trouve fréquemment dans les nuages jusqu'à des températures très négatives (- 30 °C).

Au moindre choc, elle se transforme instantanément à l'état solide, même si la température du solide est positive.

L'état habituel de l'eau dans l'atmosphère est l'état de vapeur.

Tout changement d'état s'accompagne d'un transfert d'énergie dans le milieu, dans le cas présent entre l'eau ou la glace, l'atmosphère et la chaussée.

1. La **fusion** et **l'évaporation** qui font passer la glace au liquide puis le liquide à la vapeur **nécessitent l'apport d'énergie que le milieu va fournir**. Cela s'accompagne alors d'un abaissement de température du milieu (air ambiant et surface de chaussée).

2. La **condensation** et la **solidification** qui font passer la vapeur en liquide puis le liquide en glace libèrent de la chaleur en milieu. Cela s'accompagne alors d'une élévation de température du milieu (air ambiant et surface de chaussée).

Les quantités d'énergie nécessaires au changement d'état sont appelées :

- chaleur latente de fusion ou solidification
  L_f = 334 kJ/kg (ou 80 cal/g)

- chaleur latente d'évaporation ou condensation
  L_v = 2 500 kJ/kg (ou 600 cal/g)

Page laissée blanche intentionnellement

CHAPITRE II

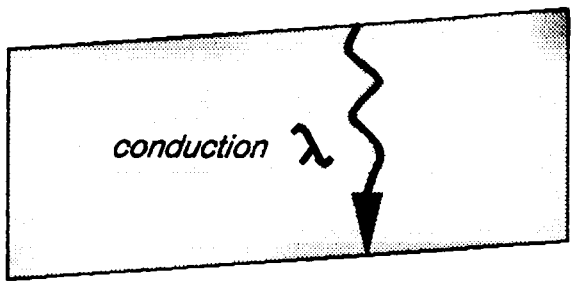
LA CHAUSSEE REVETUE D'UN

BETON BITUMEUX OU D'UN ENROBE DRAINANT

COMPARAISON DES PROPRIETES PHYSIQUES

1) CONDUCTIVITE THERMIQUE

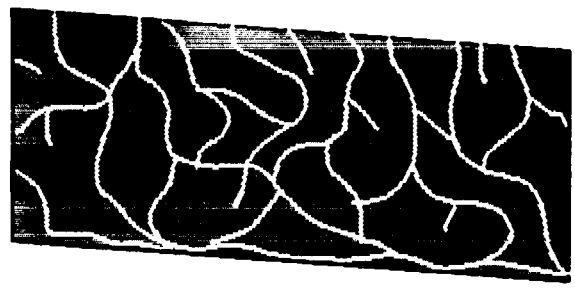
Bétons Bitumineux



λ

2,0 à 2,5 W/mK

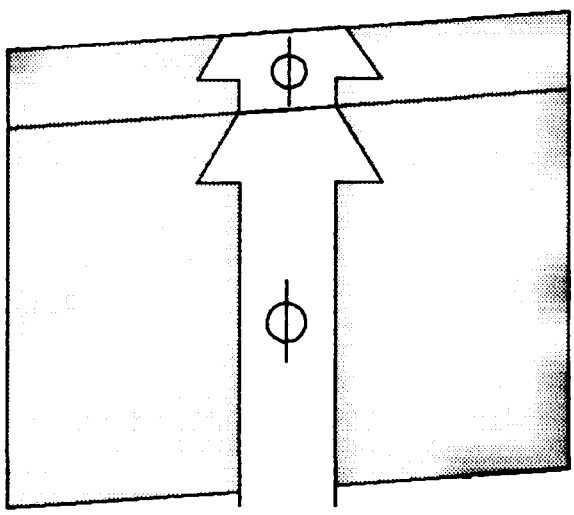
Enrobés Drainants



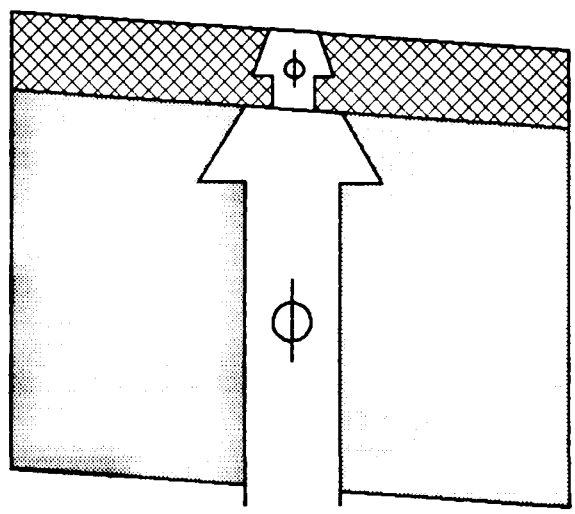
$\lambda \downarrow\downarrow$

1,0 à 1,8 W/mK
(porosité 20 %
λ air ~ 0,024)

Ts



Ts $\downarrow\downarrow$

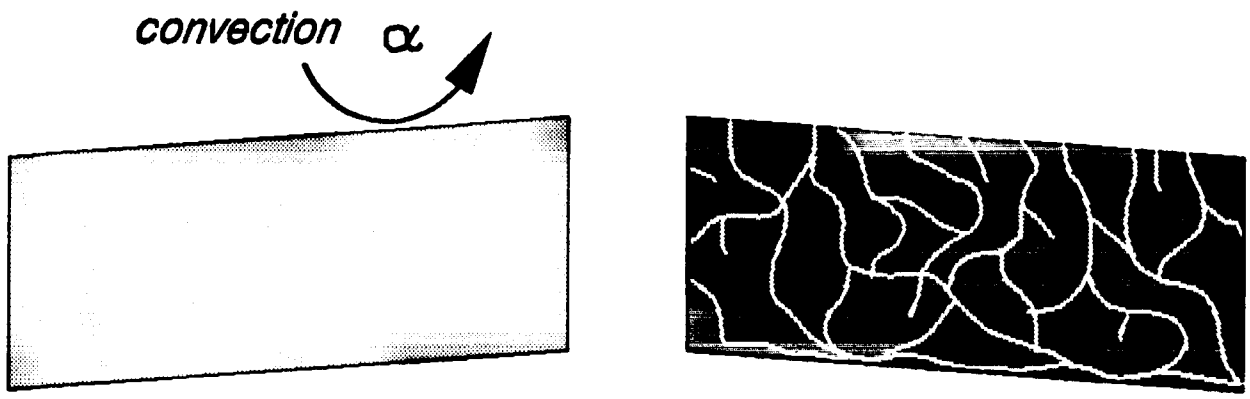


2.1 - LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

L'enrobé drainant comporte de l'ordre de 20 % de porosité, occupée par de l'air en l'absence de précipitations. Il **constitue un matériau plus isolant qu'un béton bitumineux et donc une barrière thermique à la surface de la chaussée.**

Ainsi la contribution de l'énergie géothermique à la température de surface de la chaussée est plus faible pour un enrobé drainant que pour un béton bitumineux.

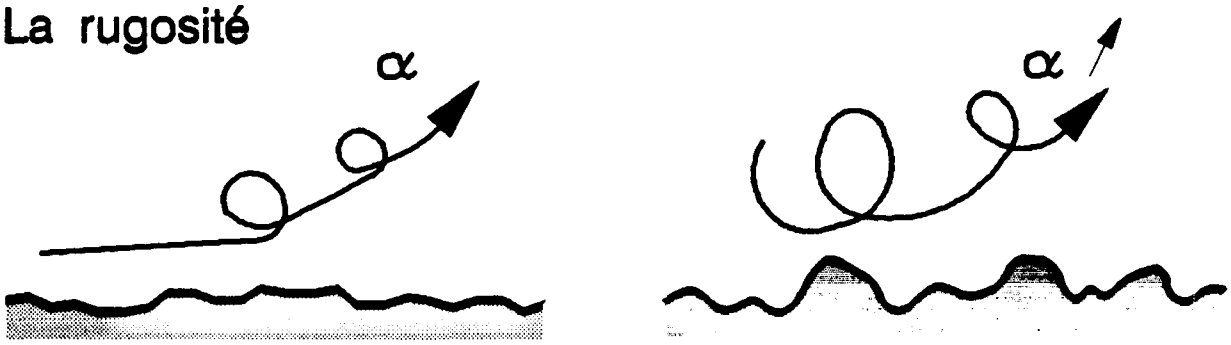
2) CONVECTION



α de 3 à 12 W/m² K

■ La macrotexture

■ La rugosité



2.2 - LA CONVECTION

Les quantités d'énergie échangées par convection par les divers revêtements dépendent :

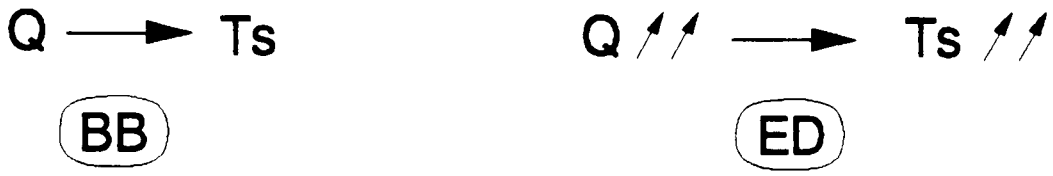
- de leur "surface spécifique" en contact avec l'atmosphère (valeur généralement élevée pour les enrobés drainants),

- de leur rugosité de surface qui conditionne le régime laminaire ou turbulent à leur surface.

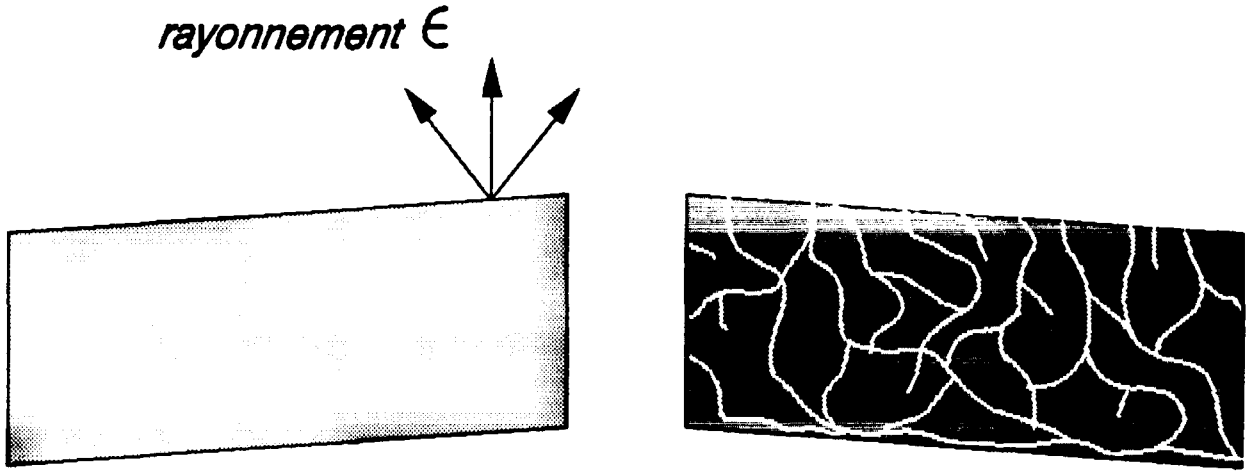
Les caractéristiques de surface des enrobés drainants sont telles que les quantités d'énergies échangées Q par leur surface sont généralement plus importantes que sur les bétons bitumineux. Cela entraîne :

- en période de refroidissement atmosphérique un abaissement plus rapide de la température de surface,

- en période de réchauffement atmosphérique, une élévation plus rapide de la température de surface,



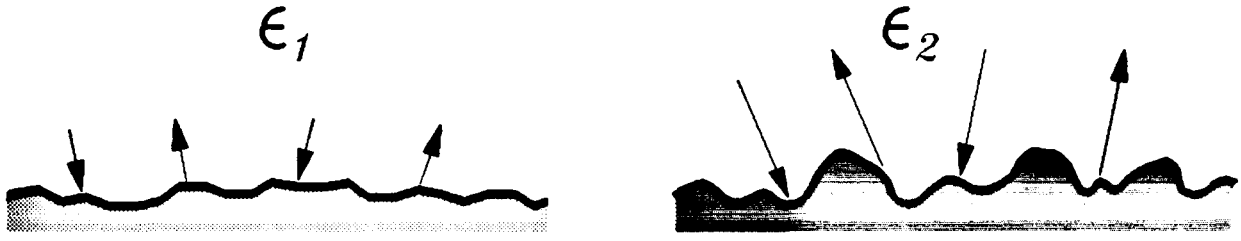
3) RAYONNEMENT



ϵ de 0,85 à 0,95
(suivant "couleur")

- La macrotexture

- La "couleur"



2.3 - LE RAYONNEMENT

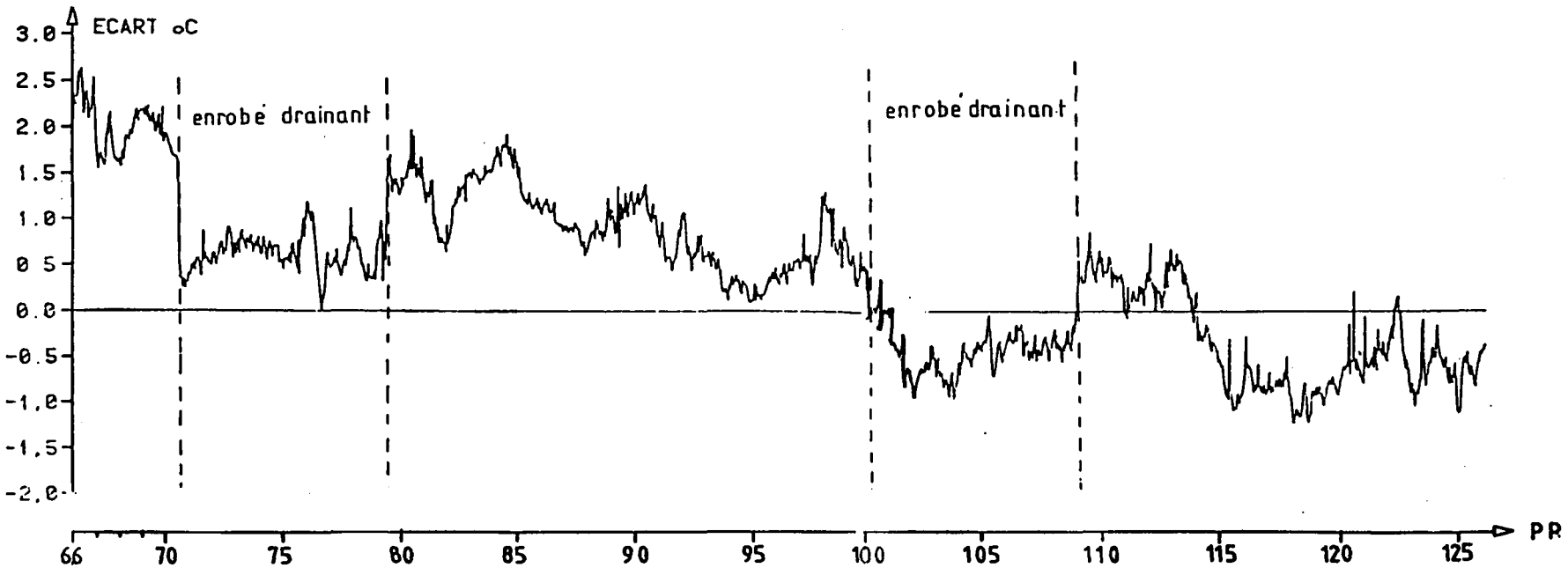
Les quantités **d'énergie échangées par rayonnement sont étroitement liées à "la couleur"** de la surface des revêtements (facteur d'émissivité epsilon).

Tous les **revêtements hydrocarbonés présentent au jeune âge un facteur d'émissivité élevé** qui est dû à la présence du film de bitume qui enrobe les granulats. La surface plus noire de ces revêtements est alors le **lieu privilégié de formation du givre.**

Les **enrobés drainants conservent plus longtemps cet aspect noir** car les mécanismes d'abrasion de la surface par le trafic sont plus réduits.

Leur **"surface spécifique"** (ou surface en contact avec l'atmosphère) **plus grande que celle d'un béton bitumineux, leur aspect plus noir, entraînent un abaissement plus important de leur température de surface en période nocturne.**

En période diurne sous fort ensoleillement cela entraîne une élévation de la température de surface plus importante que celle des bétons bitumineux.



THERMOROUTE

20/21 AVRIL 1988

2.4 - LA TEMPERATURE DE SURFACE D'UN ENROBE DRAINANT - EFFETS COMBINES DES TROIS MODES DE TRANSFERT D'ENERGIE

Dans la réalité les trois modes d'échange d'énergie à la surface d'une chaussée sont combinés. Le poids respectif de chacun d'eux et sa conséquence sur la valeur de la température de surface varient suivant les conditions météorologiques et le trafic.

Un exemple pour illustrer ces effets sur un enrobé drainant.

- L'**énergie perdue par rayonnement nocturne** provoque un abaissement plus rapide de la température de surface d'un enrobé drainant que de celle d'un béton bitumineux. La compensation thermique par **conduction de l'énergie "géothermique" au travers de la structure n'est que partiellement assurée** du fait des caractéristiques isolantes de l'enrobé drainant.

- Les **transferts d'énergie par convection** dus à un vent froid hivernal (secteur N ou NE) provoquent des effets similaires.

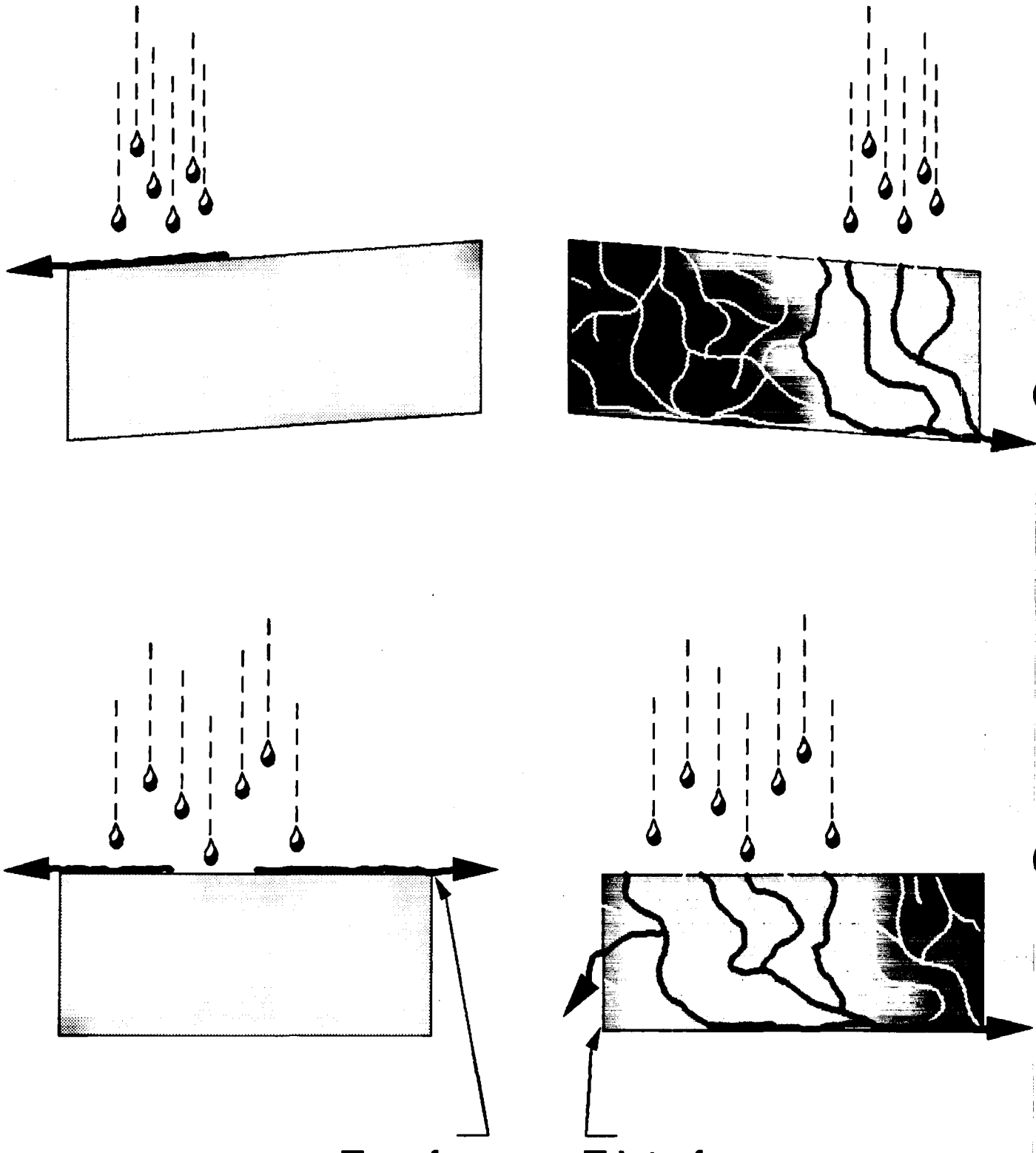
La traduction de ces divers mécanismes se retrouve :

- dans le déphasage dans le temps des courbes d'évolution de la température de surface d'un enrobé drainant par rapport à un béton bitumineux,

- dans les écarts de température de surface entre différents revêtements relevés par le véhicule THERMOROUTE.

NOTA : Ce relevé est obtenu en période nocturne, avec un ciel dégagé, au mois d'avril.

La température des enrobés drainants peut alors être inférieure de 2 à 3°C à celle des bétons bitumineux.


T surface ≃ T interface

2.5 - LA FONCTION "ECHANGEUR THERMIQUE"

Toute matrice poreuse au travers de laquelle s'écoule un fluide (gaz ou liquide) est **un lieu d'échange d'énergie**.

Il s'y établit rapidement un équilibre thermique entre les deux milieux.

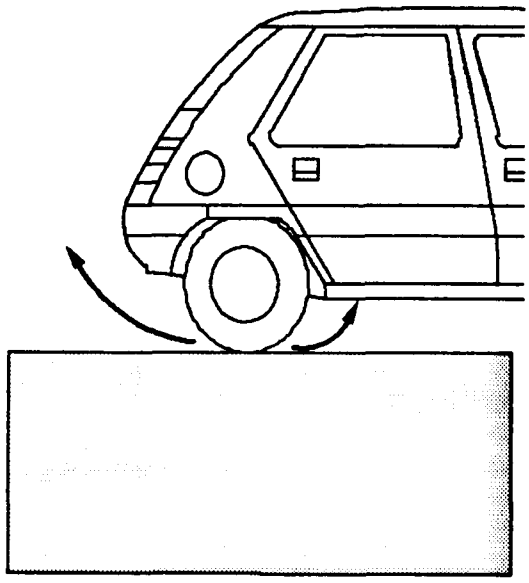
2.5.1 - Les enrobés drainants sous précipitations

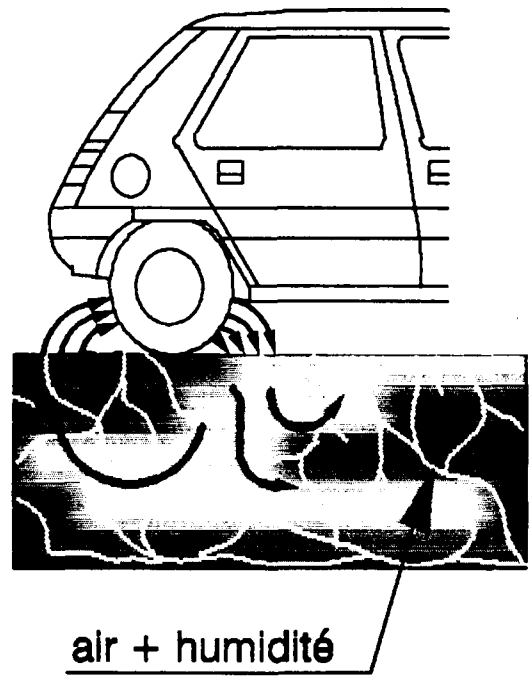
En fonction des conditions météorologiques, les précipitations peuvent refroidir ou réchauffer la totalité de l'épaisseur des enrobés drainants.

La température de surface du béton bitumineux	$\simeq$	La température à la base de l'enrobé drainant

Ceci est vrai également pour :

- la pluie et la neige mêlées	($T \sim 0°C$)
- la pluie en surfusion	($T < 0°C$)
- la saumure (fusion glace + sel)	($T << 0°C$)



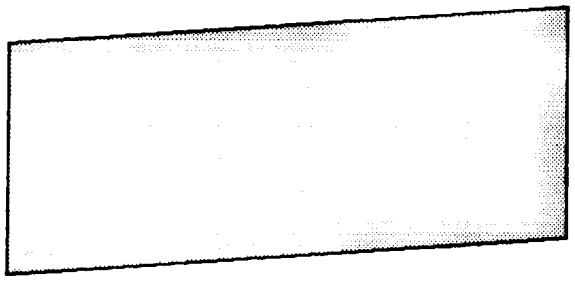


Effet PRESSION - DEPRESSION

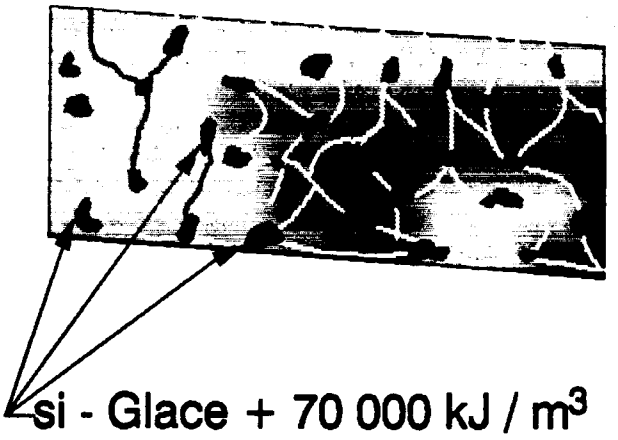
2.5.2 - Les enrobés drainants sous trafic

Les pneumatiques mettent en pression-dépression l'air contenu dans la porosité interne des enrobés drainants, ce qui accentue les échanges thermiques.

Lorsque cette porosité contient de l'air humide ou de l'eau, ces **fluides peuvent être rapportés à la surface de l'enrobé drainant et humecter** les bandes de roulement.



$C = 2\,000\ kJ / m^3\ K$



si - Glace + 70 000 kJ / m^3

2.6 - LA FONCTION STOCKAGE EN CHALEUR LATENTE DE FUSION

Rappel :

- La chaleur latente de fusion/congélation de l'eau
  $L_f = 334$ kJ/kg

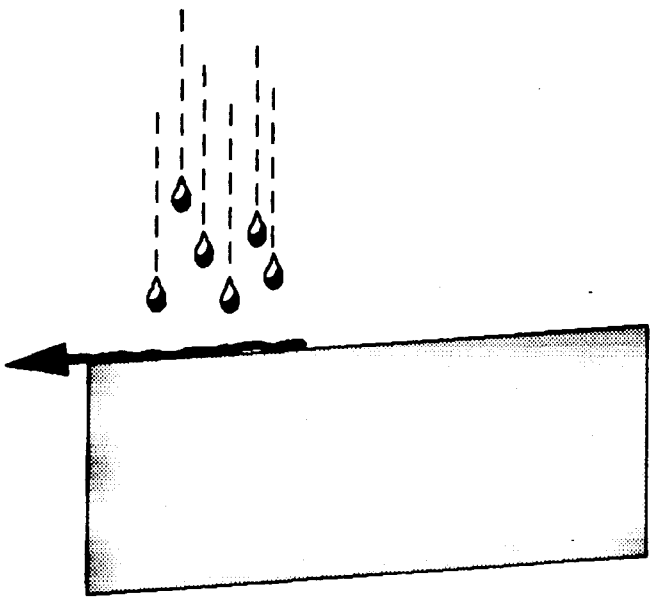
- La chaleur latente d'évaporation/condensation de l'eau
  $L_e = 2500$ kJ/kg

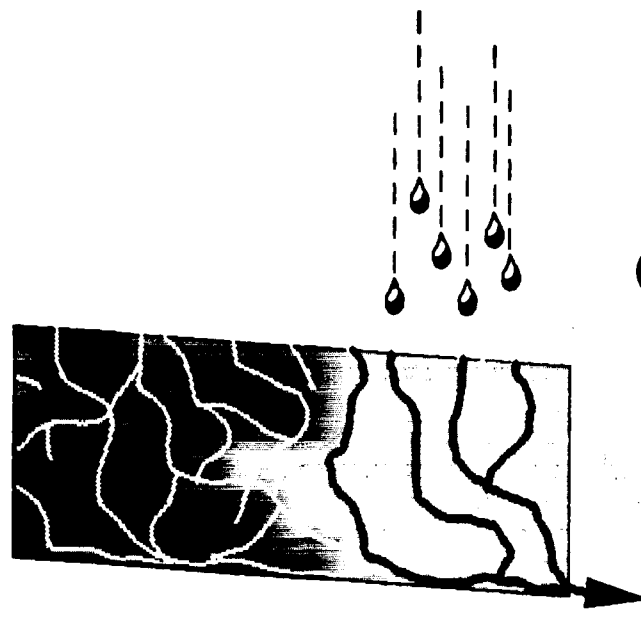
La chaleur massique d'un enrobé dense est voisine de 2000 kJ/m^3 K (dépend des caractéristiques du squelette).

La saturation en glace d'un enrobé drainant (cas qui a déjà été observé) constituent un stockage thermique important en chaleur latente voisin de

$$70000 \text{ kJ/m}^3$$

qu'il est extrêmement difficile de vaincre (apport thermique solaire ou fusion de la glace par un fondant).





5 à 10 min

1 à 2 h

200 à 300 g / m²

en surface

de plusieurs kg / m² à 300 g / m²

dans l'enrobé drainant

2.7 - RUISSELLEMENT - DRAINAGE APRES PRECIPITATIONS

Après précipitations, l'eau **ruisselle à la surface du béton bitumineux**. Dans le cas de **l'enrobé drainant**, elle **s'évacue lentement par sa porosité interne.**

Ce mécanisme est stable au bout de 5 à 10 minutes pour un béton bitumineux, il demande de 1 à 2 h pour un enrobé drainant.
(On estime la vitesse de l'eau en transit horizontal dans l'enrobé drainant à environ (3m/h).

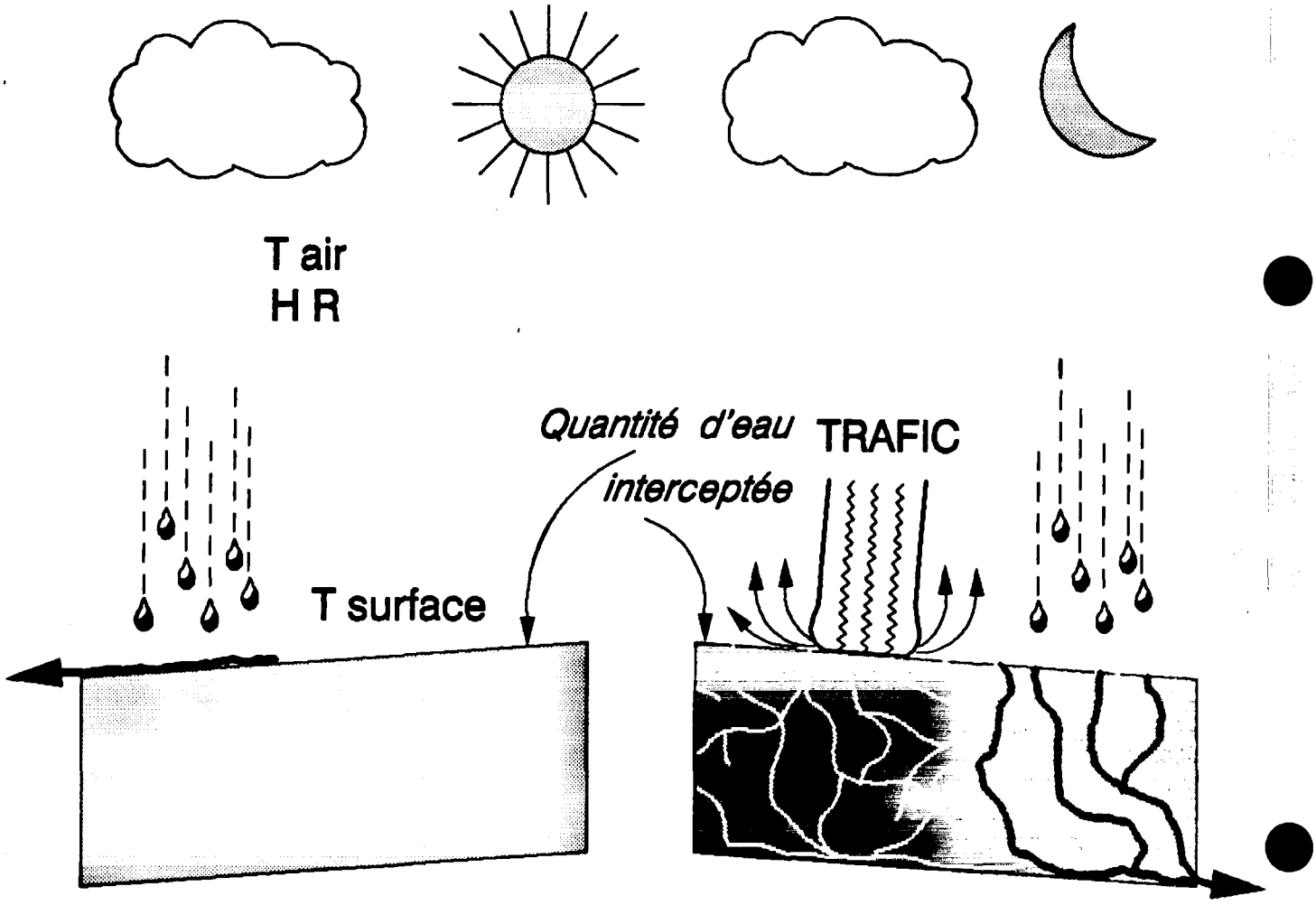
Les quantités d'eau interceptées par ces revêtements sont :

- pour un **béton bitumineux 0/10 mm, de 200 à 300 g/m^2 en surface** après drainage naturel (eau interceptée par la macrotexture superficielle),

- pour un **enrobé drainant, de plusieurs kg/m^2 en fin de précipitation à 300 g/m2 en fin de drainage** (eau interceptée par la porosité interne).

RAPPEL :	300 à 400 g/m^2	pour un enduit superficiel
	500 à 800 g/m^2	pour un béton bitumineux très mince

Pour obtenir en hiver une même protection cryogénique des revêtements, **il faut adapter le dosage en fondant au revêtement à traiter**.

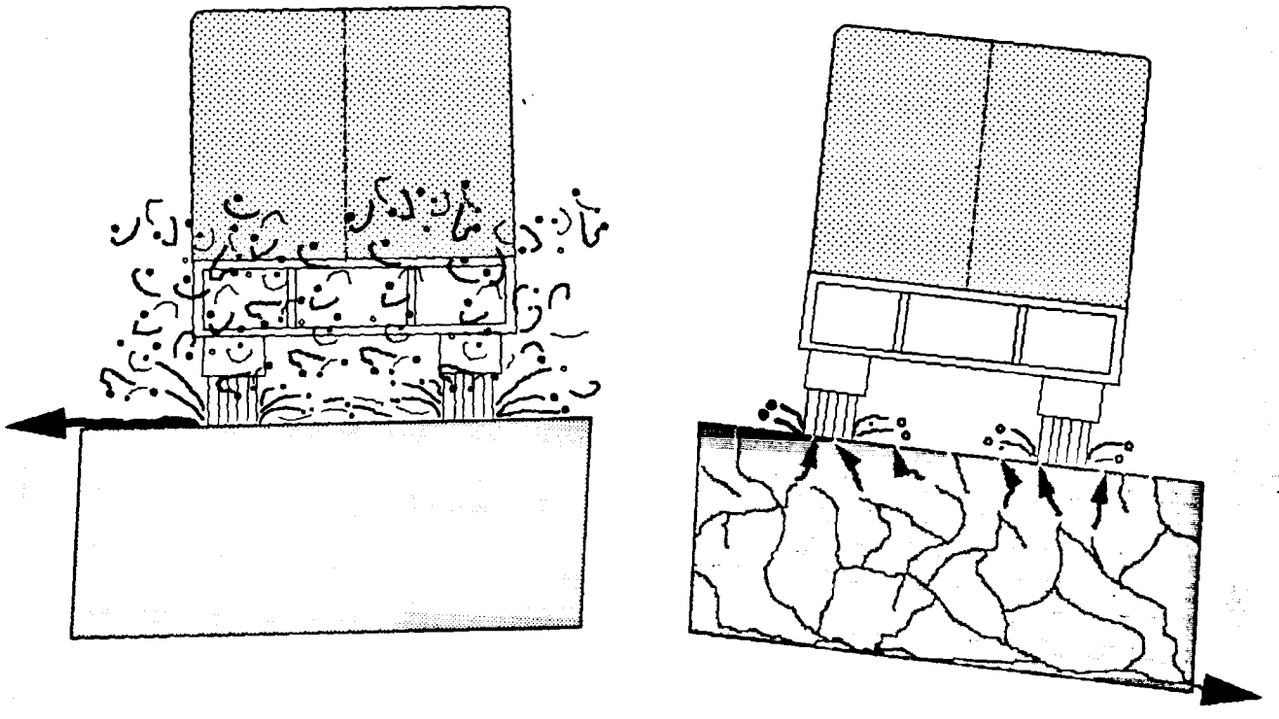

T air
H R
Quantité d'eau
interceptée
TRAFIC
T surface

2.8 - TEMPS DE SECHAGE DES SURFACES ROUTIERES

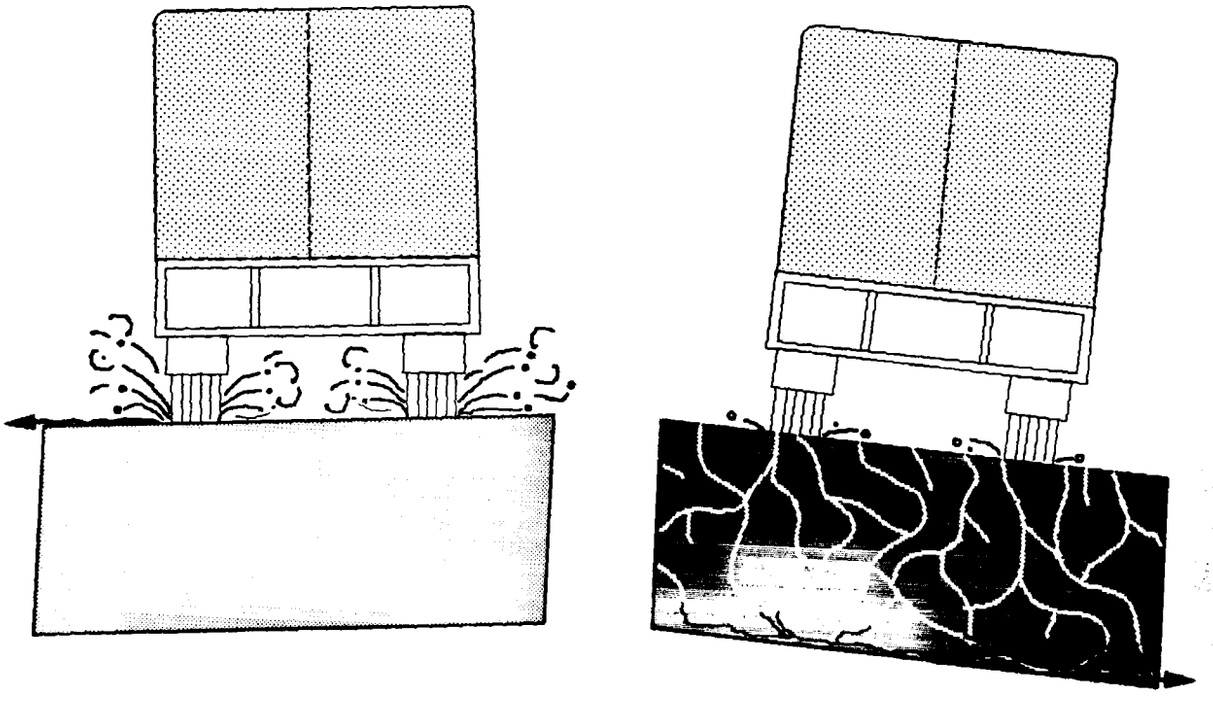
Il dépend de nombreux paramètres :

- la température de surface du revêtement,
- la quantité d'eau interceptée par le revêtement,
- l'importance du trafic (nébulisation),
- la possibilité d'interception de l'eau par les pneumatiques,
- l'humidité atmosphérique (déséquilibre de tension de la vapeur d'eau),
- etc.

APRES FORTES PRECIPITATIONS



APRES FAIBLES PRECIPITATIONS



2.8.1 - Séchage sous circulation

- Après une forte précipitation

Le temps de séchage des enrobés drainants est plus important que celui des bétons bitumineux.

* sur bétons bitumineux l'écoulement transversal s'effectue rapidement. La nébulisation par le trafic de l'eau interceptée en surface est rapide.

* sur enrobés drainants l'écoulement plus lent de l'eau s'effectue au cœur du revêtement. Elle est mobilisée plus longtemps par le trafic, la nébulisation est plus réduite.

NOTA : La température des précipitations peut de façon sensible modifier la température de surface des revêtements drainants et par voie de conséquence la vitesse de séchage.

- Après une faible précipitation

Le temps de séchage des enrobés drainants est plus court que celui des bétons bitumineux, car l'eau mobilisable par le trafic y est plus faible.

2.8.2 - Séchage sans circulation

Des essais sur piste montrent que les enrobés drainants sont toujours plus longs à sécher.

Page laissée blanche intentionnellement

CHAPITRE III

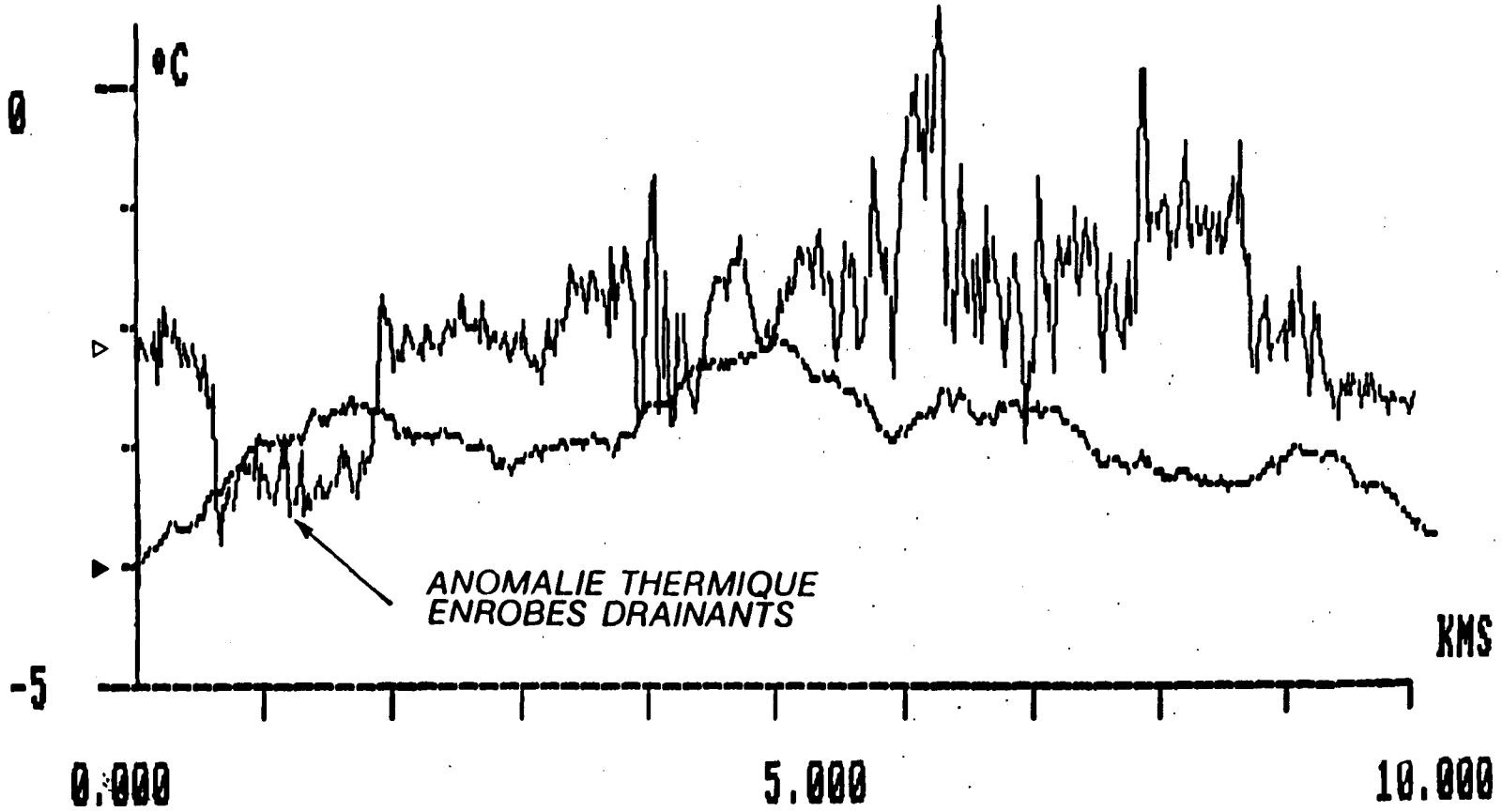
COMPORTEMENT COMPARE D'UN

ENROBE DRAINANT ET D'UN BETON BITUMINEUX

SOUS DIVERS PHENOMENES METEOROLOGIQUES

TEMPERATURE DE ROSEE ▸

TEMPERATURE DE SURFACE ▵



3.1 - LES ENROBES DRAINANTS PAR CIEL CLAIR ET DEGAGE

En période hivernale et nocturne, la chaussée rayonne fortement vers la voûte céleste. La surface des enrobés drainants se refroidit plus vite que celle des bétons bitumeux (cf chapitre II).

3.1.1 - Le cas de la surface de chaussée sèche à température négative

Situations météorologiques dites "anticycloniques".

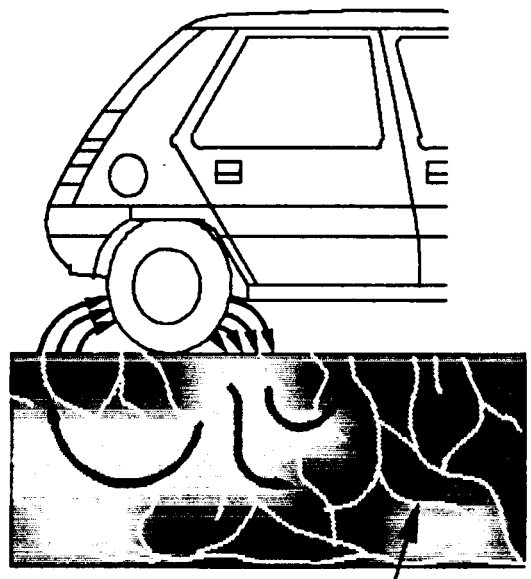
3.1.1.1- Si l'humidité relative de l'atmosphère est élevée, la température du point de rosée (ou de givre) voisine la température atmosphérique.

Alors, la température de la surface T_S des enrobés drainants peut être inférieure à celle des bétons bitumineux et à la température de rosée de la masse d'air. Elle constitue ainsi une face froide sur laquelle se condense la vapeur d'eau :

- sous forme liquide, si $T_S > 0°C$,

- sous forme solide : givre, si $T_S < 0°C$.

si Ts < 0 °C
givre



air + humidité

Ta = Td

3.1.1.2 - **Si l'humidité relative de l'atmosphère est faible,** mais que l'air contenu dans la porosité des enrobés drainants est à saturation (à la suite de précipitations récentes ou anciennes), le phénomène de succion de l'air provoqué par les pneumatiques peut entraîner un givrage ou glaçage des bandes de roulement. Ce phénomène est inexistant sur bétons bitumineux.

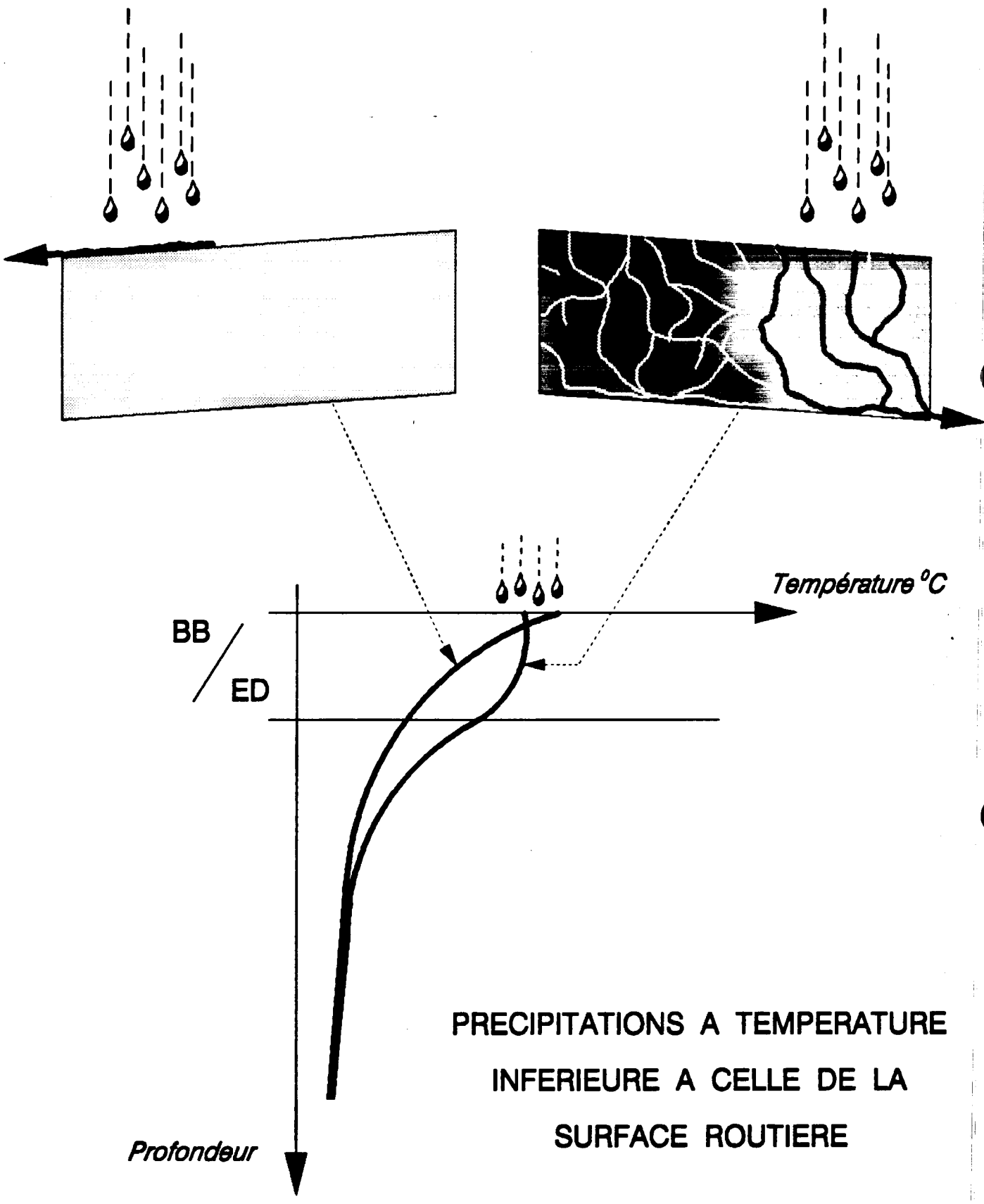
3.1.2 - Le cas de la surface de chaussée humide

Situation météorologique, dite "temps de traîne" ou alternances de précipitations et de ciel dégagé.

En période nocturne deux phénomènes se combinent pour abaisser la température de surface des revêtements :

- le rayonnement thermique vers la voûte céleste,
- l'évaporation de l'eau en surface qui puise son énergie en partie à la chaussée.

Dans cette situation météorologique, la température de surface des enrobés drainants décroît plus rapidement que celle des bétons bitumineux avec un risque associé de formation de verglas.



PRECIPITATIONS A TEMPERATURE INFERIEURE A CELLE DE LA SURFACE ROUTIERE

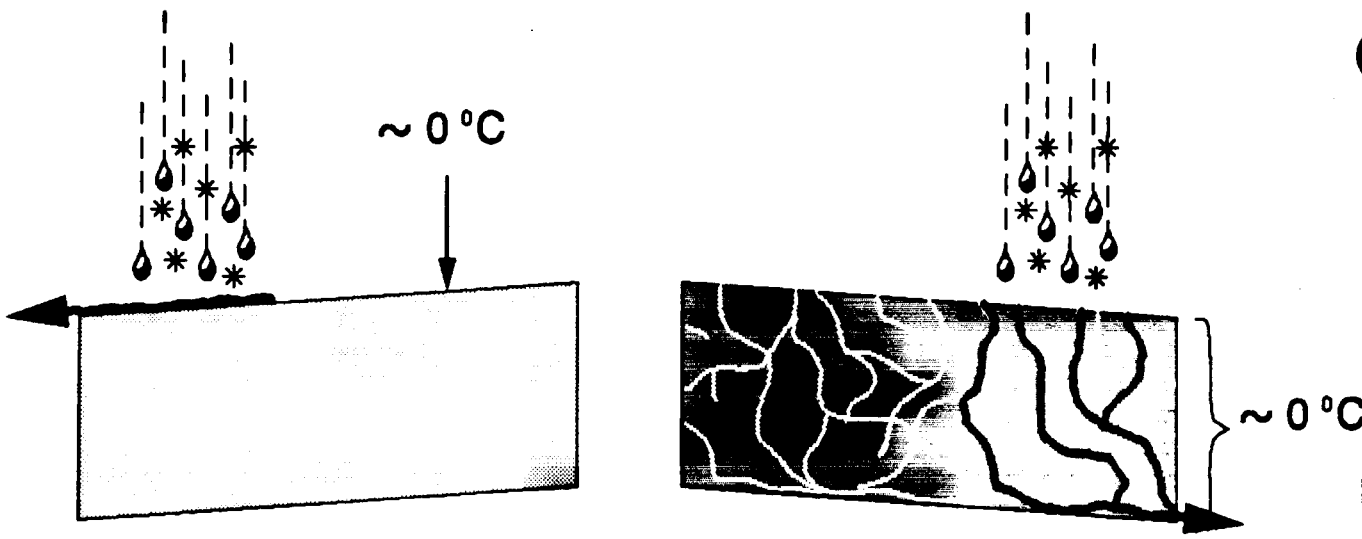
3.2 - LES ENROBES DRAINANTS SOUS PRECIPITATIONS HIVERNALES

En période hivernale, les précipitations revêtent des formes variées : pluies, pluie et neige mêlées, pluie en surfusion, neige plus ou moins humide. Ces phénomènes peuvent être observés en période de refroidissement ou de radoucissement atmosphérique. L'enchaînement plus ou moins rapide de ces phénomènes, combiné à la fonction "échangeur" et aux caractéristiques thermiques de ces revêtements drainants, sont à l'origine de diverses difficultés de viabilité hivernale.

3.2.1 - Sous la pluie

La température des précipitations conditionne la température de surface des enrobés denses et celle de toute l'épaisseur des enrobés drainants.

La pluie sur un revêtement gelé provoque du verglas dans sa phase initiale ; dans un deuxième temps et suivant la quantité d'eau précipitée (quantité d'énergie) elle entraîne le dégel de la surface. Sur un revêtement drainant, cela peut conduire en phase transitoire au colmatage de la porosité par de la glace et constituer un stockage thermique en chaleur latente difficile à combattre.


~ 0 °C
~ 0 °C

3.2.2 - Sous pluie et neige mêlées

Ce mélange de glace fondante est à une température voisine de 0°C.

En période de refroidissement

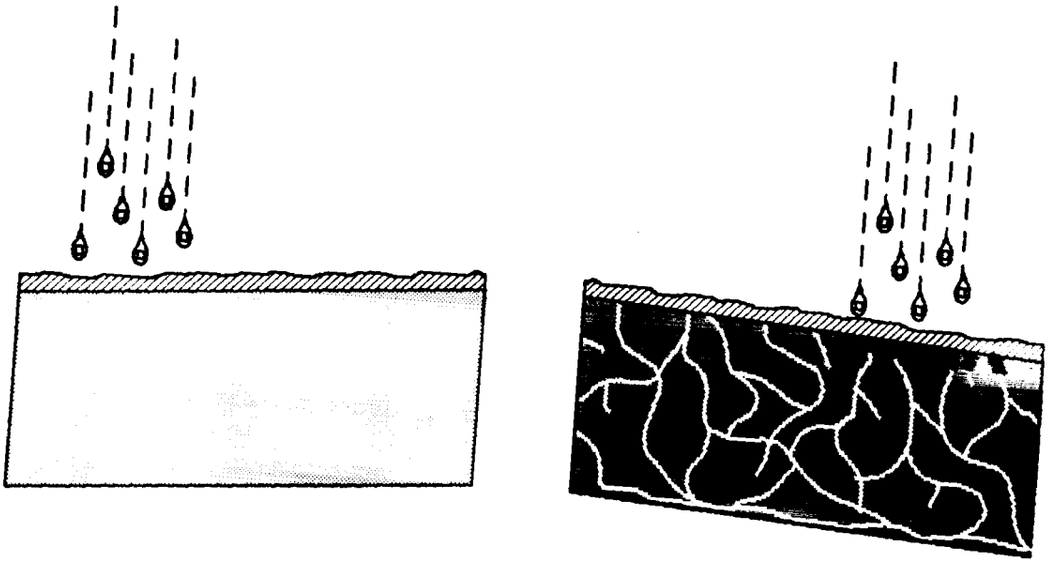
La fonction "échangeur" des enrobés drainants entraîne un abaissement plus rapide de leur température de surface qui les rend plus sensibles à un nouvel abaissement de température avec formation de verglas.

L'évolution vers une situation neigeuse peut entraîner une adhésion plus importante de la neige à la surface des enrobés drainants.

Rappel : Chaleur spécifique massique
Eau 4,23 kJ/kg
Béton bitumineux 0.86 kJ/kg

En période de radoucissement

Dans le cas d'un revêtement gelé, le risque est semblable à celui de la pluie.



3.2.3 - Sous pluie en surfusion

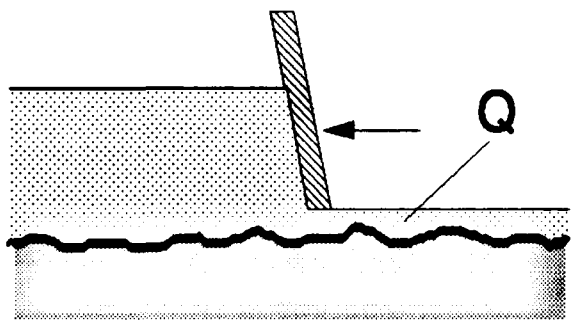
Ce type de précipitation liquide à température négative se transforme instantanément en glace au contact du sol.

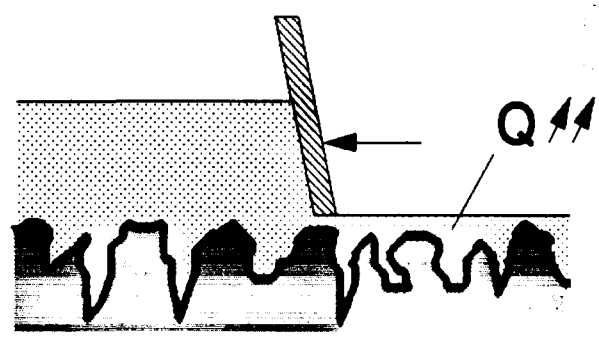
Elle provoque la formation d'un verglas qui peut être parfois très épais.

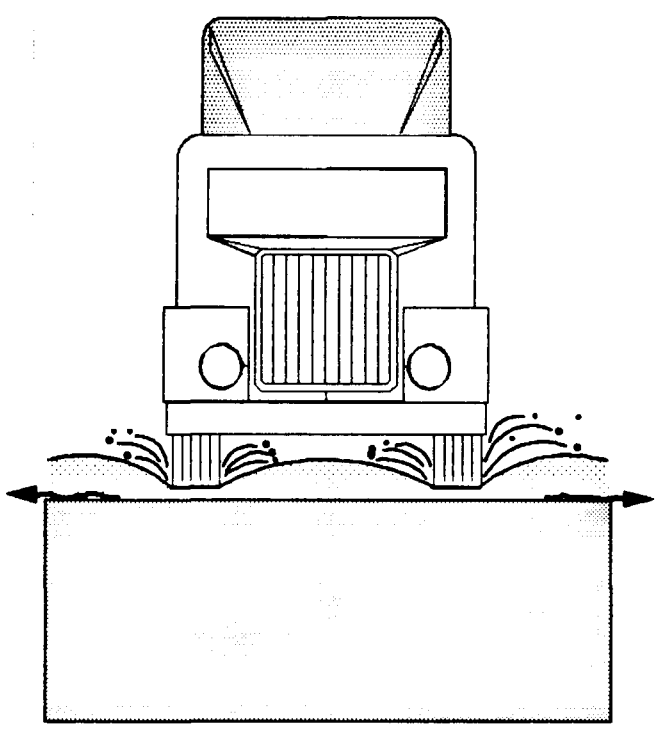
Quelque soit le style de revêtement, ce verglas présente les mêmes dangers car :

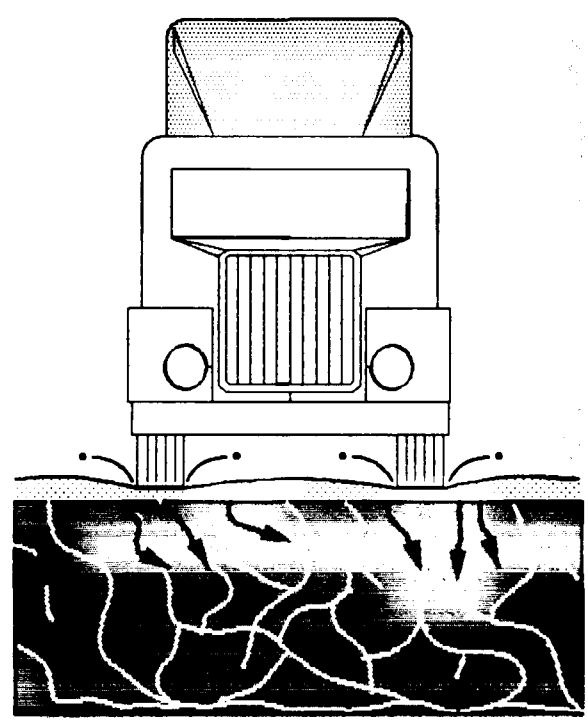
- il gomme à la fois la macro et micro rugosité,
- il emprisonne, en les rendant inefficaces, les fondants éventuellement répandus de façon préventive.

Sur enrobés drainants ce verglas colmate la porosité du revêtement.


Q


Q





3.2.4 - La neige

Les difficultés susceptibles d'être rencontrées sont étroitement liées à la qualité de la neige plus ou moins humide.

Du fait de la macrotexture particulière des enrobés drainants, la qualité du déneigement est différente de celle des bétons bitumineux fermés. La valeur en eau de la pellicule de neige subsistant derrière l'outil de raclage sera plus importante sur les enrobés drainants (remplissage d'une partie de la porosité interne).

Le travail de la neige par le trafic, en présence de fondant, est considérablement réduit par l'absence de projections sur les enrobés drainants.

Le temps de retour au "noir" de ces revêtements drainants se trouve allongé de ce fait. (Dégagement plus rapide des bandes de roulement, dégagement lent en dehors).

Toutefois, l'aspect plus blanc de la surface de ces revêtements en présence de neige, devrait être générateur d'un comportement plus sécuritaire des usagers, or des constatations récentes semblent indiquer le contraire (perception acoustique ?). L'adhérence de la surface est voisine de celle d'un béton bitumineux fermé, voire meilleure dans les bandes de roulement.

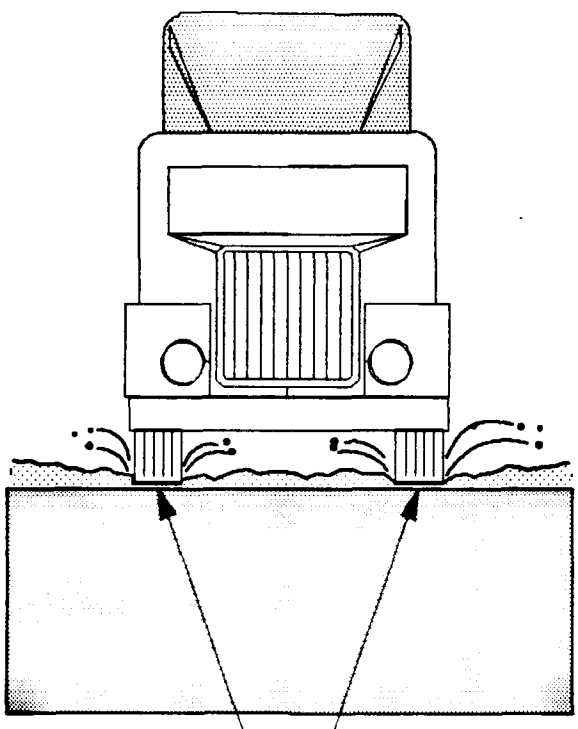
Les conditions météorologiques et leur évolution restent cependant l'un des facteurs principaux des modifications de la qualité des neiges rencontrées.

3.2.4.1 - La neige sèche

Sur chaussée sèche et non salée (généralement à $T_s < 0°C$) cette neige "n'adhère pas". Un trafic important peut cependant la tasser progressivement à la surface de la chaussée.

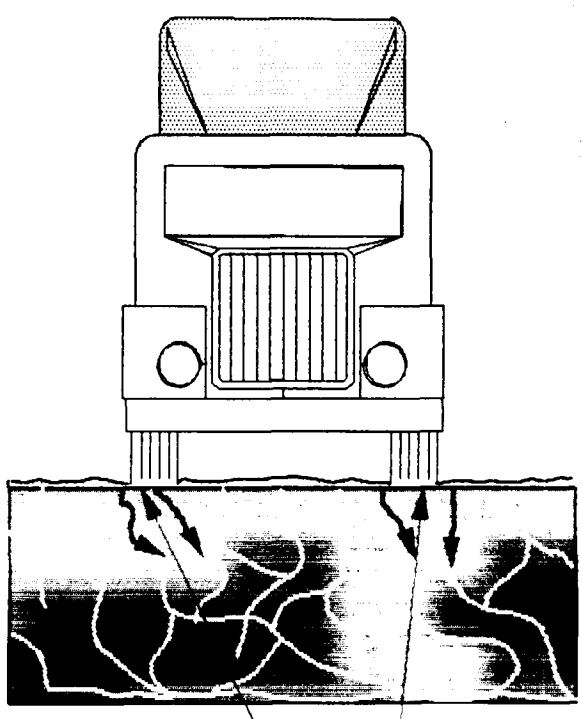
La macrotexture des enrobés drainants est favorable à une interception en surface de ce type de neige en cristaux fins.

Sur une chaussée humidifiée par un salage antérieur, cette neige adhère rapidement à la surface où elle évolue vers une glace claire sous l'effet de la dilution des fondants résiduels et du compactage par le trafic. Sur enrobés drainants, la saumure formée s'échappe par la porosité interne. Le "lessivage" de surface qui s'ensuit est favorable à l'adhésion de la neige, même très froide.



Bouillie de neige

Contact (pneu / neige mouillée / sol)



Contact (pneu / sol)

3.2.4.2 - La neige humide

Cette neige adhère et se compacte facilement sous l'effet du trafic à la surface des revêtements.

Ce phénomène est plus rapide sur les enrobés drainants que sur les bétons bitumineux du fait d'une surface généralement plus froide (adhésion plus rapide de la neige) ou d'une surface qui se refroidit plus vite (caractère isolant + fonction échangeur).

Par ailleurs, l'équivalent en eau intercepté par la macrotexture et la porosité interne est plus élevé.

3.2.4.3 - La neige mouillée

Cette neige est :

- soit le produit de la transformation d'une neige humide additionnée d'un fondant, ce mélange se situant à une température négative ou voisine de 0°C,
- soit le résultat d'une précipitation extrêmement humide sur une chaussée à température positive.

Cette neige n'adhère pas aux revêtements.

Sur béton bitumineux cette bouillie est évacuée essentiellement par projection latérale due à la mise en pression des pneumatiques. **Il subsiste souvent dans ce cas une interface "glissante" entre le pneumatique et la surface routière.**

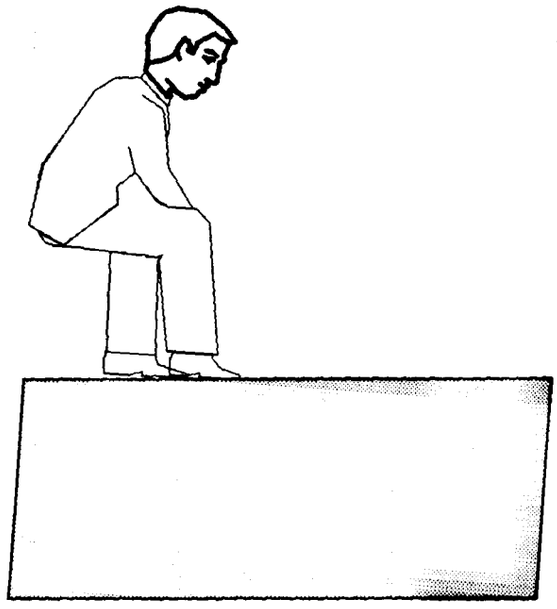
Sur enrobés drainants cette bouillie est évacuée sous la pression des pneumatiques par la porosité du revêtement. Le niveau d'adhérence obtenu dans ce cas est meilleur que sur bétons bitumineux.

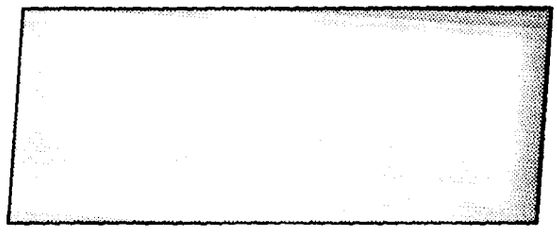
Page laissée blanche intentionnellement

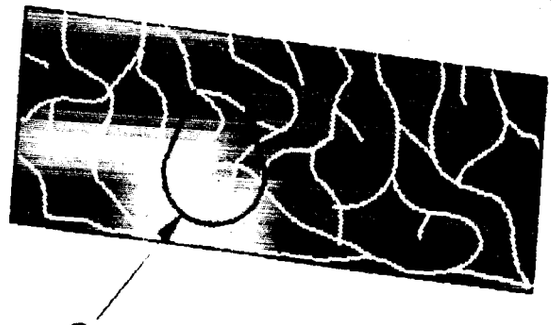
CHAPITRE IV

COMPORTEMENT COMPARE DES

DIVERS FACTEURS DU SERVICE HIVERNAL







?

4.1 - LA SURVEILLANCE

La surveillance du réseau a pour objectif d'appréhender les divers paramètres locaux susceptibles de conduire à l'apparition sur la chaussée d'une perte d'adhérence.

Parmi ces paramètres, certains sont étroitement liés aux caractéristiques du revêtement.

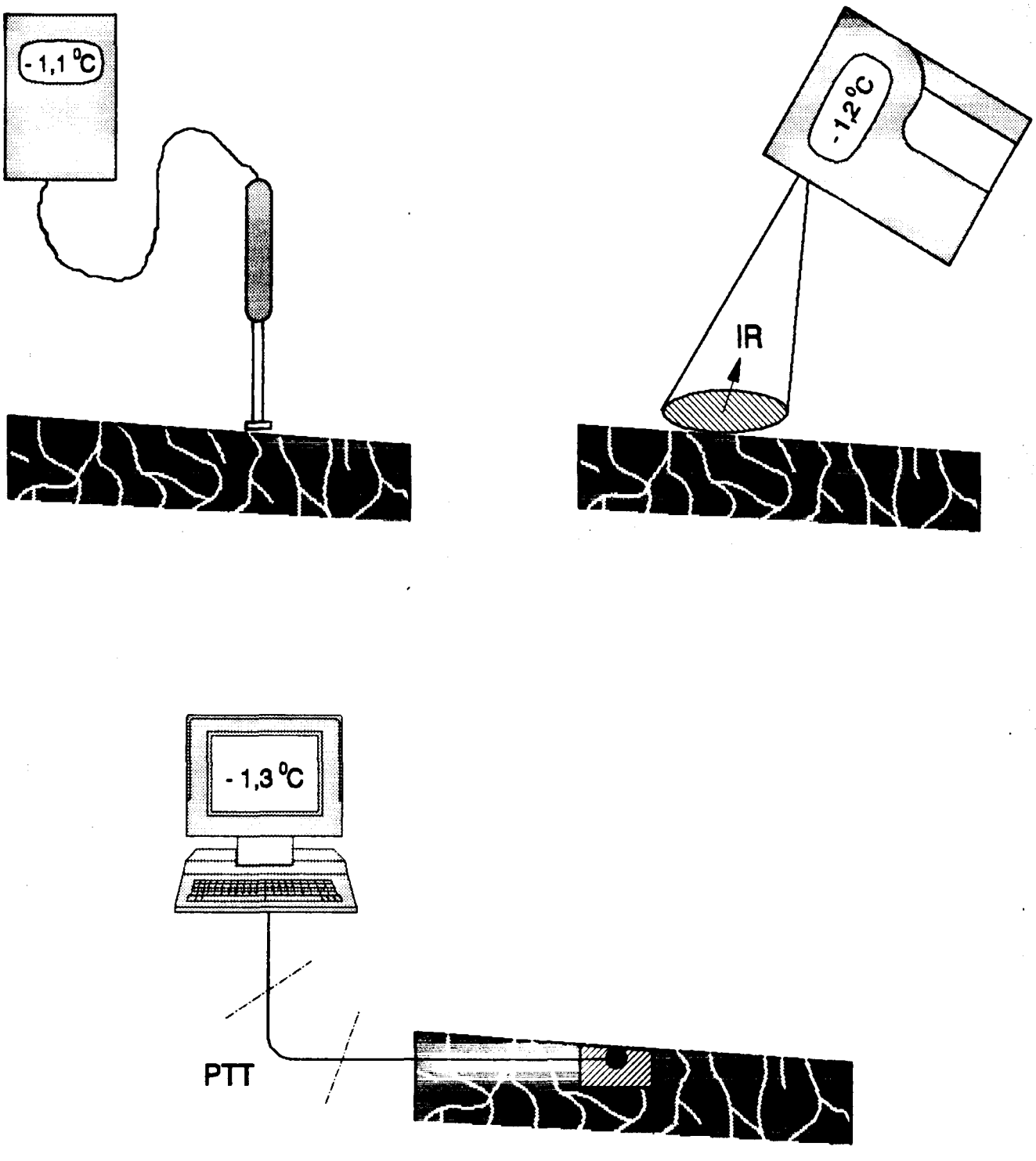
4.1.1 - Caractérisation de l'état de surface

La première distinction est celle qui consiste à **différencier l'état SEC de l'état HUMIDE**. Pour un béton bitumineux, l'expérience permet de faire visuellement cette distinction. Sur enrobés drainants, la couleur plus foncée et la macrotexture différente de la surface, rendent difficile cette distinction visuelle (en l'état actuel de l'expérience), le recours au toucher s'avère souvent nécessaire.

4.1.2 - Connaissance de l'humidité piégée

Bien que bétons bitumineux et enrobés drainants puissent présenter un même état de surface de chaussée, ces derniers peuvent piéger dans leur porosité une quantité d'eau éventuellement mobilisable par le trafic (en phase vapeur ou liquide).

Aucune technique opérationnelle simple ne permet à ce jour d'appréhender directement ce paramètre. Par voie indirecte, on peut estimer qu'en l'absence de précipitations durant 3 à 5 jours successifs, il n'existe plus d'eau mobilisable par le trafic.


- 1,1 °C
- 1,2°C
IR
- 1,3 °C
PTT

4.1.3 - Température de surface, comment la déterminer ?

La température de surface est le paramètre principal, qui traduit les mécanismes d'échange thermique entre la surface de chaussée et son milieu.

Sa détermination peut être faite de plusieurs façons :

- par mesures ponctuelles à l'aide **d'une sonde de contact**. Il est important d'effectuer plusieurs relevés et d'en établir la moyenne.
  Ce type de mesure est délicat (constante de temps de la sonde, sécurité de l'opérateur ...etc),

- par une mesure ponctuelle à l'aide **d'un pyromètre à mesure du rayonnement I.R**. Ce type de mesure intègre la température d'une surface (cible visée), elle est plus rapide mais sa précision dépend de la qualité de l'appareil,

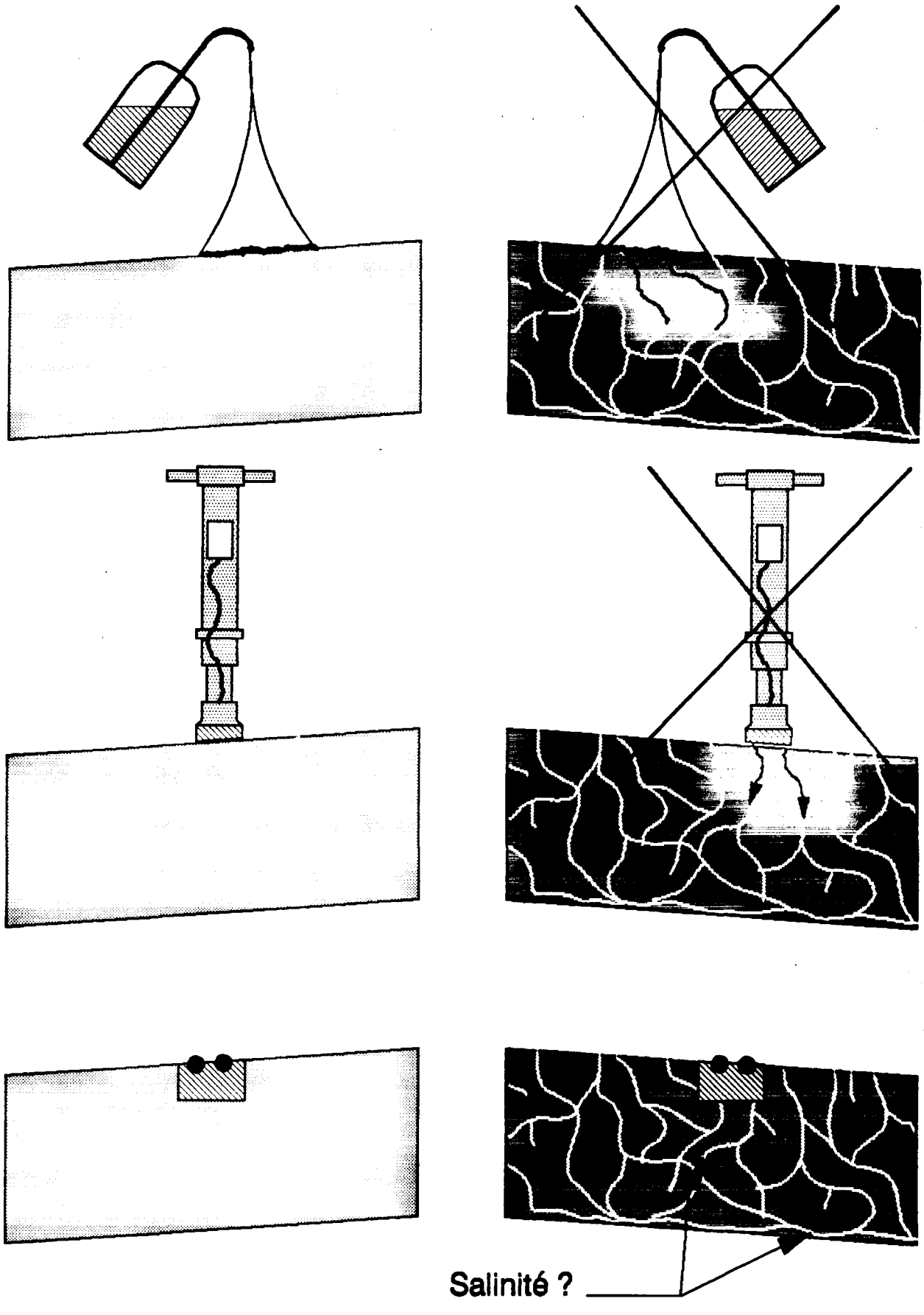
- par une mesure ponctuelle à l'aide d'une sonde scellée en surface du revêtement (cas des SAD - SH).

Pour que ce paramètre puisse être correctement utilisé, il convient de pouvoir le situer à la fois sur les plans :

* spatial : représentativité de la mesure faite par rapport à la signature thermique du profil en long de l'itinéraire,

* temporel : représentativité de la mesure faite par rapport à son évolution passée et prévisible.

Sur enrobés drainants ce paramètre est difficile à déterminer (macrotexture spécifique de la surface) et à utiliser (variation temporelle rapide).


Salinité ?

4.1.4 -Salinité de surface et à coeur du revêtement, comment la déterminer ?

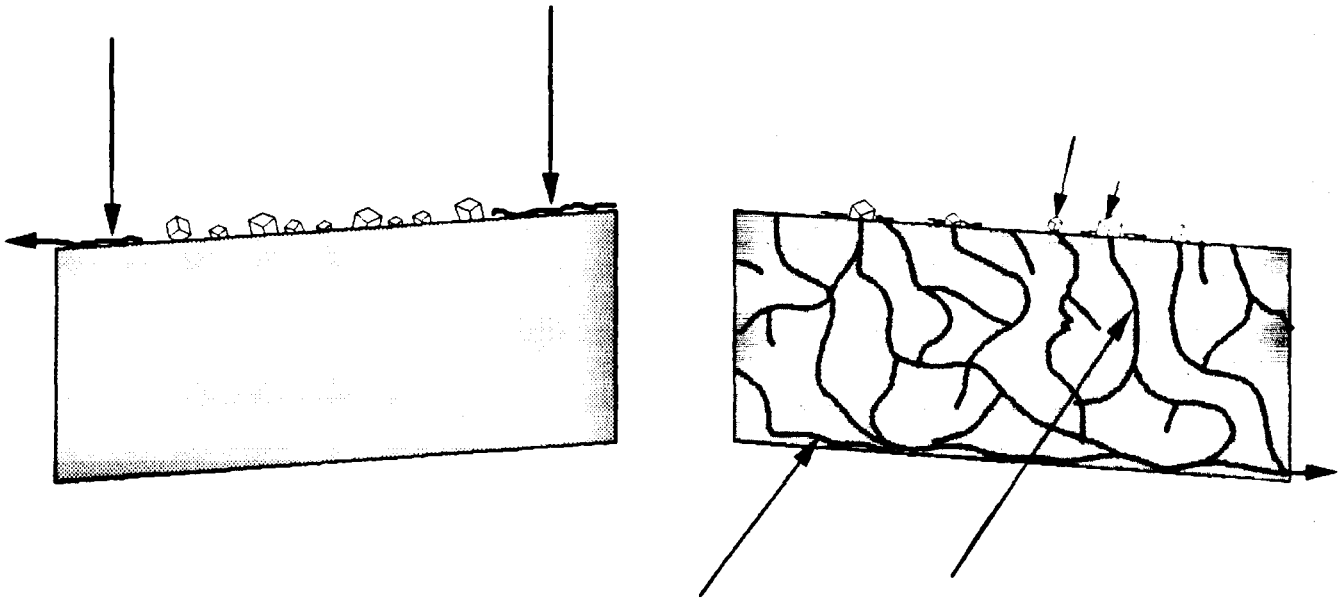
L'épandage d'un fondant à la surface d'une chaussée :

- entraîne (généralement) son humidification par hydratation du fondant,
- apporte une protection cryogénique à l'humidité éventuellement présente.

Sur un béton bitumineux la saumure formée séjourne (s'évapore ou se dilue) à la surface du revêtement.

Sa concentration (ou dosage résiduel) peut être appréciée à l'aide des outils suivants :

- les réactifs chimiques : trois solutions titrées (A, B, C) déposées sur la saumure de chlorure de sodium permettent de déterminer trois niveaux de concentration (7,5 % ; 13,5 % ; 17,5 %),
- le "SOBO 20 " : ce matériel de mesure détermine sur chaussée après dilution dans un volume d'eau fixé, le dosage en fondant (g/m^2) présent sur le revêtement. Cette technique nécessite que le revêtement soit imperméable,
- les stations automatiques : certains capteurs de chaussée mettant en oeuvre divers principes physiques permettent d'obtenir directement ou par déduction la température de congélation de l'humidité à la surface de chaussée.



Sur enrobés drainants, la saumure formée s'échappe de la surface du revêtement et chemine au travers de sa porosité interne. Les phénomènes d'évaporation concentration ou de précipitation - dilution ne concernent plus uniquement la surface du revêtement mais son épaisseur.

La difficulté majeure réside dans la quasi impossibilité actuelle de connaître le niveau de protection cryogénique résiduel de ces revêtements :

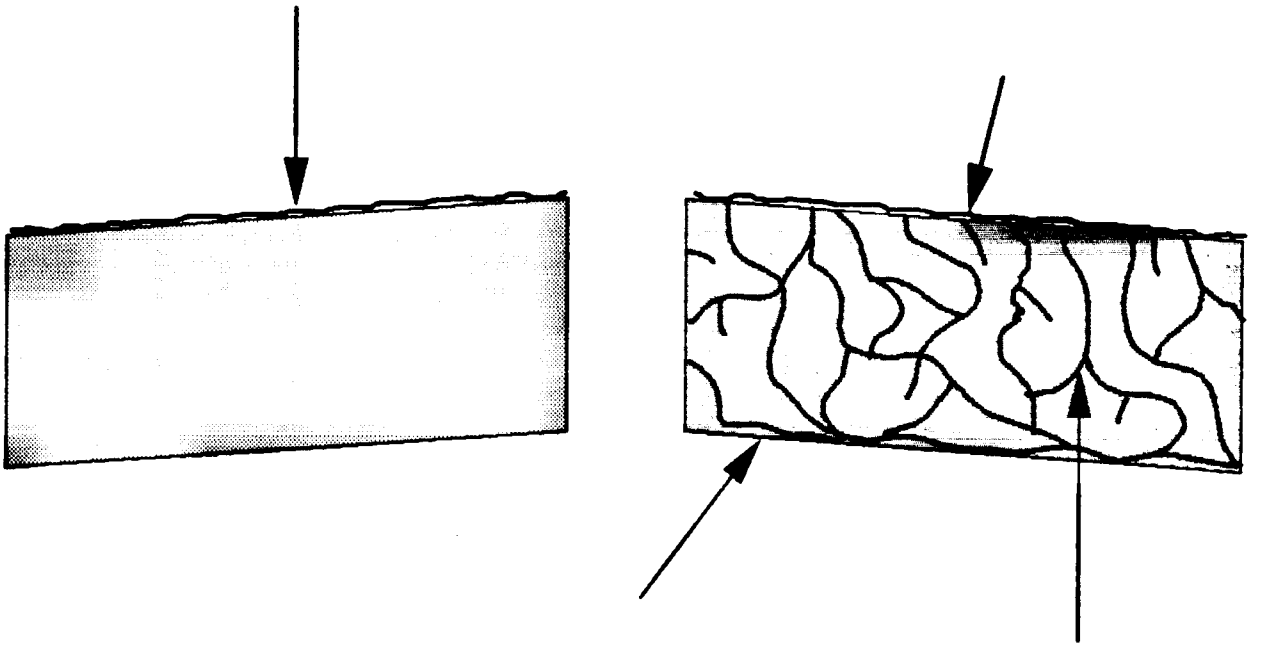
- protection cryogénique de l'humidité de surface, compte tenu de l'eau (ou saumure) mobilisable par le trafic,

- protection cryogénique de l'humidité dans l'épaisseur de l'enrobé drainant, compte tenu des phénomènes de lessivage possible.

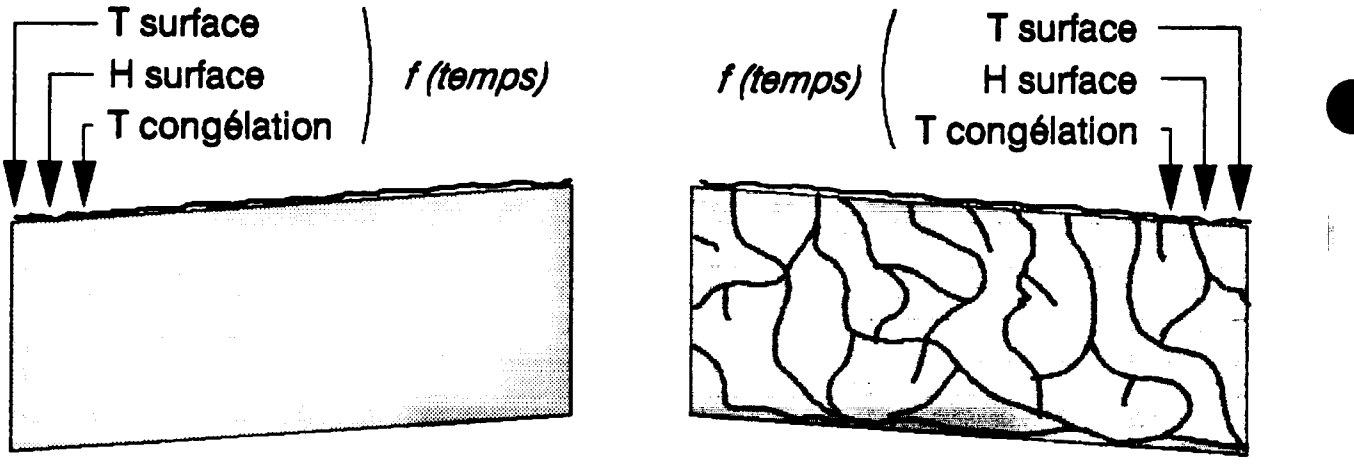
Des techniques de mesure conventionnelles appliquées sur bétons bitumineux, seule celle des stations automatiques permet une approche partielle (en surface) de la protection cryogénique des enrobés drainants.

Préventif

Principe



Décision



+ (H coeur ED
T congélation coeur ED
mobilisation potentielle

4.2 - LE TRAITEMENT PREVENTIF

Ce traitement est destiné :

- soit à **prévenir une formation éventuelle de verglas en abaissant la température de congélation de la phase aqueuse** présente sur le revêtement,

- soit à **éviter toute adhésion au revêtement d'un phénomène météorologique** provoqué par condensation ou précipitation (givre, neige, pluie en surfusion, pluie sur sol gelé).

4.2.1 - La Décision

La prise de décision repose sur :

- **l'analyse de l'état du réseau** (paramètres caractéristiques),

- et la **projection temporelle attendue de cet état en liaison avec les prévisions météorologiques.**

Pour les enrobés drainants,cette spécificité dans la décision repose :

a) sur la difficulté d'appréhender, avec précision, une grande partie des paramètres caractéristiques :

* la température de surface (précision des mesures, représentativité spatiale),

* l'humidité présente en surface, à coeur et la mobilisation potentielle éventuelle par le trafic,

* le degré de protection cryogénique du revêtement en surface et à coeur.

b) la difficulté de prévoir l'évolution à brève et moyenne échéance de l'état de surface qui est étroitement liée à :

* la température de surface qui peut évoluer de façon très différente de celle d'un enrobé dense (inertie thermique, caractéristiques isolantes, rayonnement, etc, ...),

* l'humidité qui peut soit se déposer par condensation (liquide ou solide) à partir de l'air ambiant, soit être mobilisée dans la porosité interne du revêtement,

* l'évolution de la salinité résiduelle de surface en fonction des paramètres d'environnement.

4.2.2 - Le choix technique

Le **traitement préventif sur enrobés drainants consiste donc à réaliser la protection cryogénique de :**

- **la surface du revêtement,**

+

- **la porosité interne du revêtement et l'humidité qui y séjourne.**

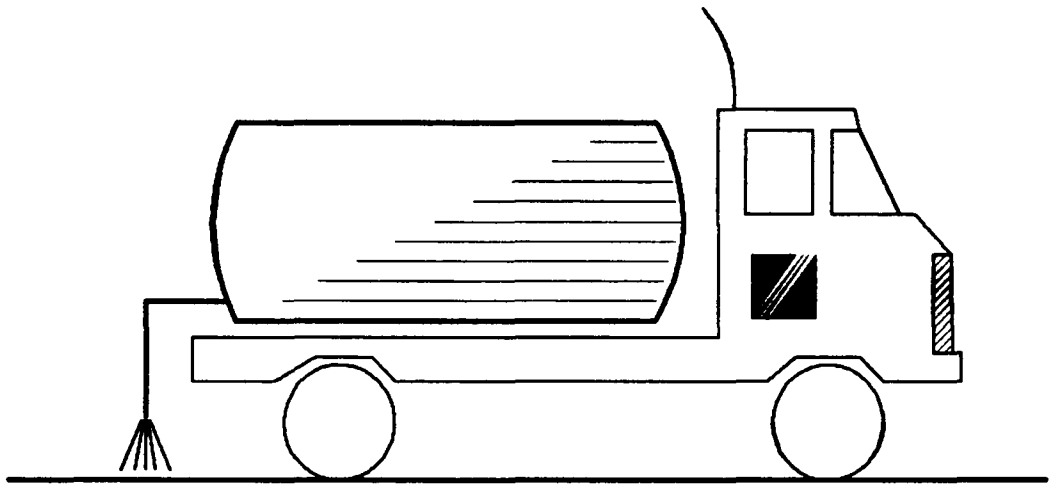
La palette des principaux produits à notre disposition est la suivante :

* les chlorures de sodium	NaCl
* le chlorure de calcium	$CaCl_2$
* le chlorure de magnésium	$MgCl_2$

Les techniques d'épandage sont variées et nécessitent souvent des matériels spécifiques :

* les saumures (NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$),
* les fondants en paillettes ou en grains en deux ou trois granulations (sels fins, moyens, gros),
* les bouillies associant fondants en grains (généralement NaCl) avec diverses saumures.

Page laissée blanche intentionnellement



4.2.2.1 - Les saumures

Lorsque l'enrobé drainant est parfaitement sec tant en surface qu'à coeur (ce qui est difficile à apprécier), cette technique permet une protection cryogénique efficace si le phénomène météorologique attendu :

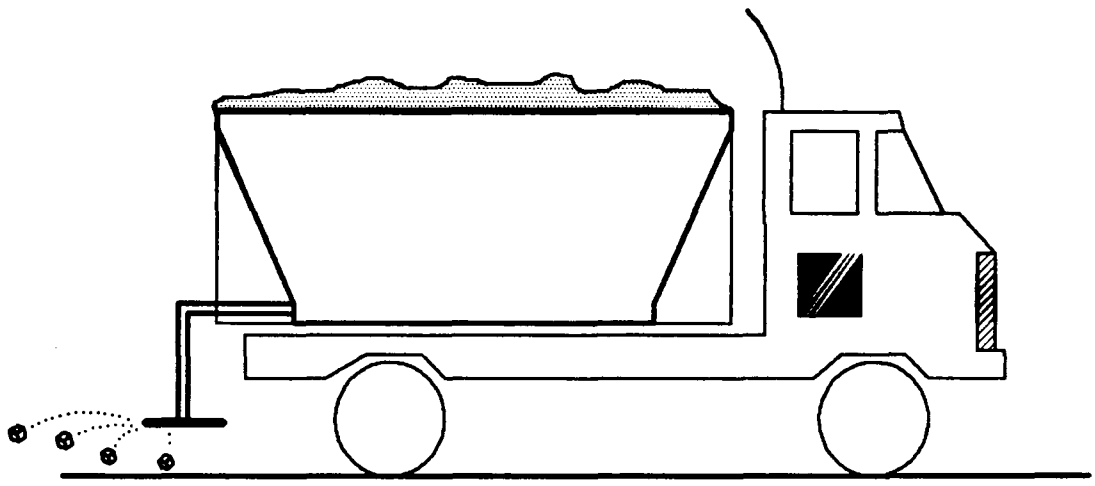
- apporte très peu d'eau (dilution),
- se produit à une température très légèrement négative (0°C-2°C).

Lorsque l'enrobé drainant est humide soit en surface soit à coeur, cette technique est déconseillée car elle entraîne :

- une dilution immédiate de la saumure avec une réduction de la protection cryogénique,

- un risque de congélation de la saumure si la température s'abaisse et que le phénomène météorologique attendu dilue à nouveau cette saumure insuffisamment concentrée.

CETTE TECHNIQUE EST A DECONSEILLER EN PREVENTIF SUR ENROBES DRAINANTS CAR TRES RAPIDEMENT SUJETTE A DILUTION ET LESSIVAGE



4.2.2.2 - Les fondants en grains

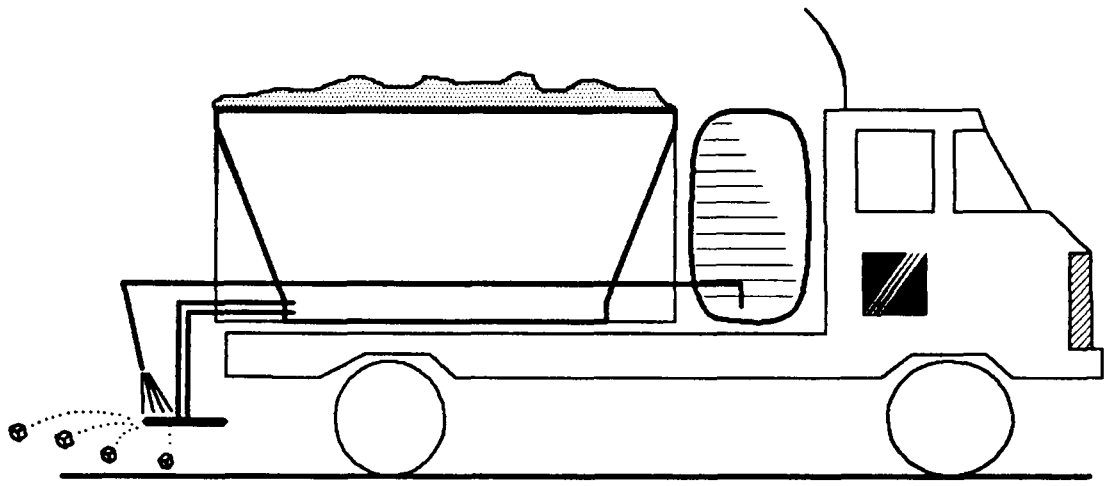
Ces fondants présentent des granularités variables qui correspondent à divers compromis entre : fabrication, facilité d'emploi, efficacité et maintien sur la chaussée. Pour être efficace il faut toutefois que le fondant solide se soit hydraté et que la saumure tapisse la surface du revêtement ce qui peut demander plusieurs dizaines de minutes.

Sur une chaussée sèche l'épandage de fondants en grains s'accompagne d'une diminution d'efficacité du traitement due au balayage par le trafic.

Ce phénomène se trouve réduit quand la surface est humide.

Sur enrobés drainants ce balayage est en partie neutralisé car leur macrotexture "intercepte" mieux les grains en surface (dans les lacs intergranulaires en communication avec la porosité interne). Par contre, la saumure formée par hydratation du fondant alimente et protège essentiellement la porosité interne. Suivant la granularité du fondant le traitement peut ne pas être homogène. Si le phénomène météorologique attendu s'accompagne d'une condensation importante ou de précipitations, il y a un risque de formation de verglas par lessivage rapide de la surface. Ce phénomène est moindre sur bétons bitumineux où la saumure séjourne en surface.

CETTE TECHNIQUE PERMET D'ASSURER DANS UN DELAI MOYEN, UNE PROTECTION CORRECTE DE LA POROSITE INTERNE DES ENROBES DRAINANTS EN SURFACE CETTE PROTECTION EST SUJETTE A DILUTION ET LESSIVAGE



4.2.2.3 - Les fondants en bouillie

Cette technique met en association un fondant solide et une saumure saturée, au moment de l'épandage sur la chaussée. Elle permet :

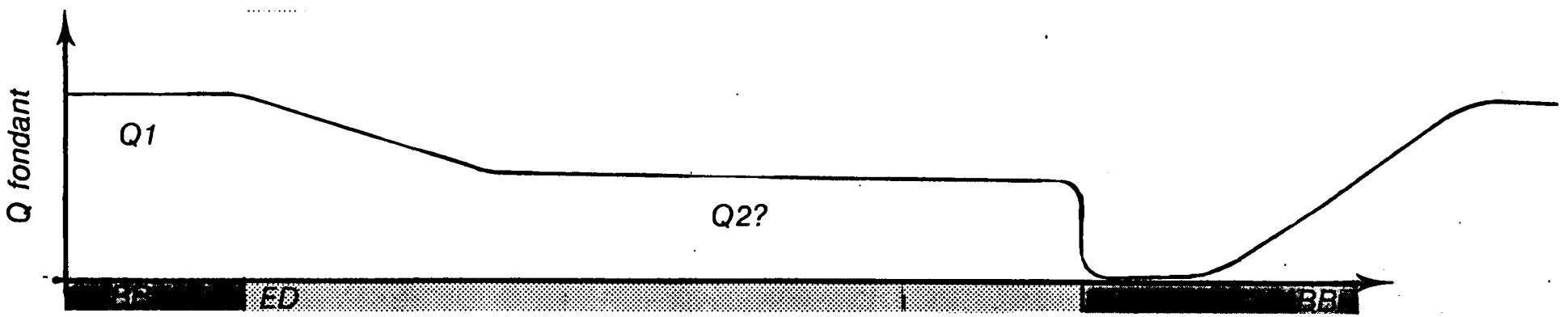
- une meilleure fixation des grains à la surface du revêtement,

- d'abaisser de façon sensible la limite d'utilisation du chlorure de sodium sur chaussée très froide.

Sur chaussée sèche cette technique combine les avantages d'un traitement à la saumure et en grains. Elle permet une efficacité immédiate et par conséquent une intervention très proche d'un phénomène météorologique attendu (notion de précuratif).

CETTE TECHNIQUE PERMET D'ASSURER DANS UN DELAI BREF UNE PROTECTION CORRECTE DE LA POROSITE INTERNE DES ENROBES DRAINANTS.EN SURFACE CETTE PROTECTION EST SUJETTE A DILUTION ET LESSIVAGE

EVOLUTION DU DOSAGE EN FONDANT SUR UN ITINERAIRE



transport des fondants sur 1000 à 1500 m

4.2.3 - L'entraînement des fondants par le trafic sur enrobés drainants

Le trafic entraîne les fondants répandus sur la chaussée sur des distances voisines de 1500 m à 2000 m.

Sur bétons bitumineux, fermés en surface, la salinité est "homogène". Elle évolue dans le temps en fonction des phénomènes météorologiques (dilution) ou et des conditions de trafic (abrasion - projections latérales).

La salinité est éventuellement mesurable à l'aide d'un SOBO, un SAD - VH ou de réactifs.

Sur enrobés drainants, tout ou partie des fondants (en phase aqueuse) chemine dans la porosité interne du revêtement et est éliminé. La protection cryogénique en surface (indépendamment des conditions météorologiques et de trafic) est réduite.

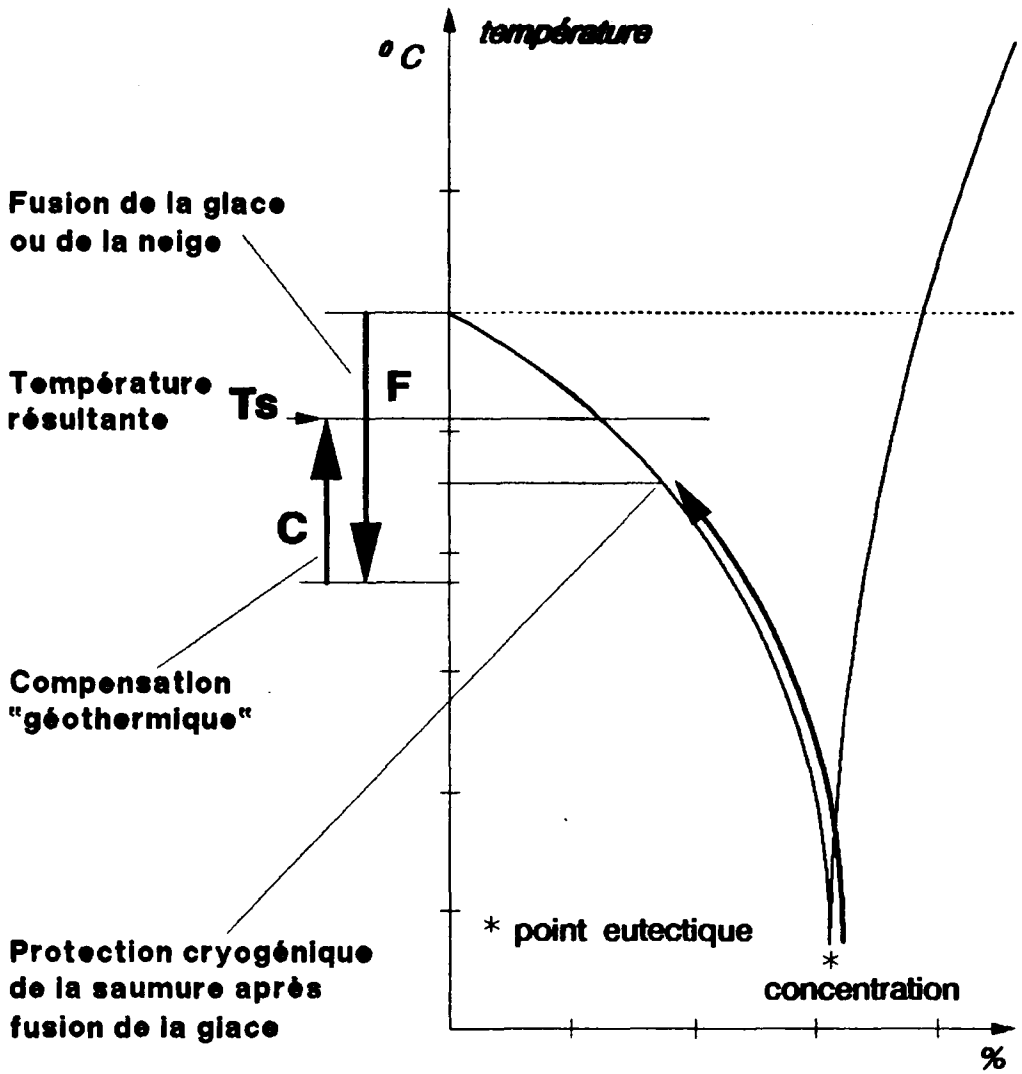
La mobilisation de la salinité interne par effet de succion des pneumatiques décroît avec la vidange de la porosité de l'enrobé drainant.

Le transport des fondants par le trafic, semble dans certains cas être la cause d'une disparition importante des fondants sur les bétons bitumineux en partie aval, du fait d'un rechargement en fondants des pneumatiques dans cette zone.

La mise en place d'une porosité décroissante des enrobés drainants dans cette zone de transition permettrait de limiter ce problème.

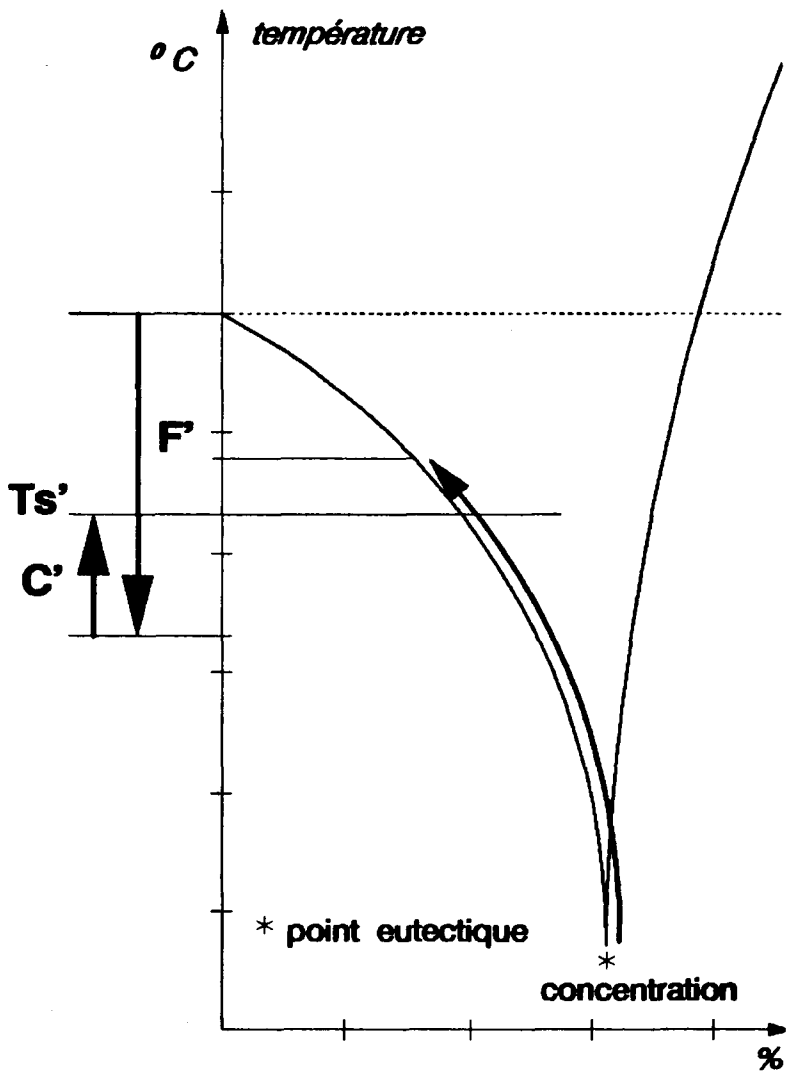
La salinité en surface d'enrobé drainant est difficilement mesurable (éventuellement SAD - VH et réactif) à coeur du revêtement on ne sait pas faire à ce jour.

BETONS BITUMINEUX



T surface > T congélation

ENROBES DRAINANTS



T surface < T congélation

4.3 - CONSEQUENCE THERMOHYDRIQUE DE L'EMPLOI D'UN FONDANT SUR UN REVETEMENT VERGLACE OU ENNEIGE

La fusion naturelle, ou provoquée par un fondant, de la glace ou la neige consomme une énergie de 334 kJ/kg (la réaction endo ou exothermique d'hydratation des fondants est négligée). **Cette énergie est prise au milieu et plus particulièrement à la surface de chaussée, ce qui provoque un abaissement de température de sa surface.**

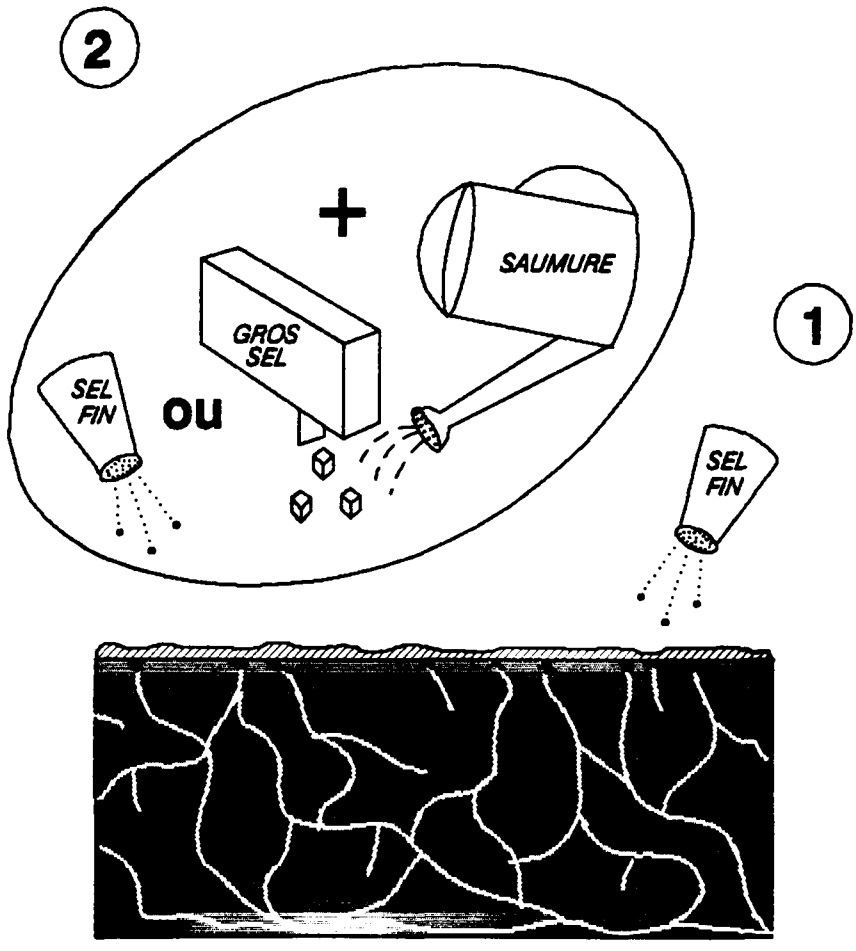
Ce **refroidissement est partiellement compensé par l'énergie géothermique** traversant la structure de chaussée.

Les propriétés isolantes **des enrobés drainants ralentissent cette compensation thermique.**

Le phénomène de déconcentration de la saumure formée par le mélange eau de fusion + fondant, entraîne une diminution de la température de protection cryogénique.

Pour certaines situations météorologiques (températures initiales, épaisseurs de neige ou de verglas, nature et forme du fondant), **la température résultante de surface de chaussée peut se trouver inférieure à la température de protection cryogénique de la saumure, ce qui provoque un arrêt de la fusion puis une recristallisation du milieu.**

Ce phénomène peut être observé sur tous les revêtements.


2
+
SAUMURE
GROS SEL
SEL FIN
ou
1
SEL FIN

4.4 - LE CURATIF VERGLAS

Ce traitement est effectué, sur une chaussée dont l'adhérence est altérée sur tout ou partie de sa surface par un verglas dont les modalités de formation peuvent être très différentes. La difficulté essentielle sur enrobés drainants est que la saumure formée s'échappe au fur et à mesure par la porosité interne.

4.4.1 - La congélation d'humidité préexistante

L'eau résiduelle (pluie antérieure, reliquat de fonte de la neige, fonte de bourrelet, humidité due aux fondants ... etc) à la surface est refroidie par effet radiatif ou (et) convectif.

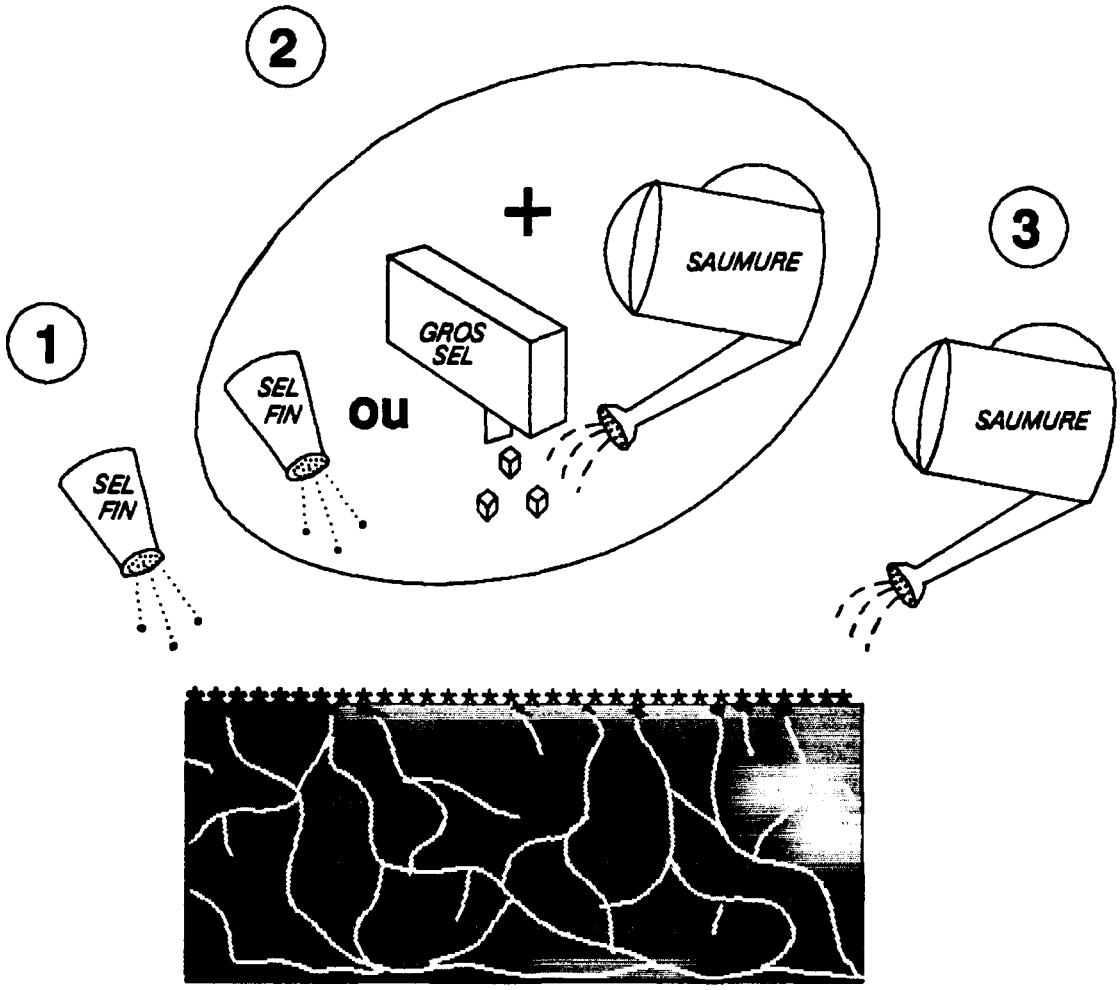
Sur enrobés drainants, l'humidité résiduelle en surface est extrêmement faible par rapport à un BB mais suffisante pour former un verglas très glissant.

Deux méthodes d'attaque de ce type de verglas :

- à l'aide d'un fondant en grains, de granulométrie assez fine afin de bien couvrir la surface verglacée, la saumure formée assurant éventuellement la protection de la porosité interne,

- à l'aide d'une bouillie, de sel fin éventuellement, cette solution technique assurant un retour plus rapide que la précédente à une adhérence normale.

DOSAGE ENVIRON 20 g/m2


2
1
3
SEL FIN
SEL FIN
ou
GROS SEL
+
SAUMURE
SAUMURE

4.4.2 - Le givre

La surface de chaussée peut jouer dans certaines situations météorologiques le rôle de face froide. **La vapeur d'eau s'y condense à température négative sous forme de givre.** Les fins cristaux blancs sont progressivement compactés par le trafic, ce qui forme un verglas très fin.

Sur enrobés drainants ce verglas est assez fréquent car la porosité interne du revêtement peut également constituer un puits d'humidité.

Les quantités d'eau ainsi condensées sont très faibles.

Trois méthodes de traitement possibles :

- le fondant en grains de granulométrie fine pour bien couvrir le givre,
- la bouillie (avec du sel fin éventuellement),
- la saumure qui permet un traitement efficace et rapide de la surface.

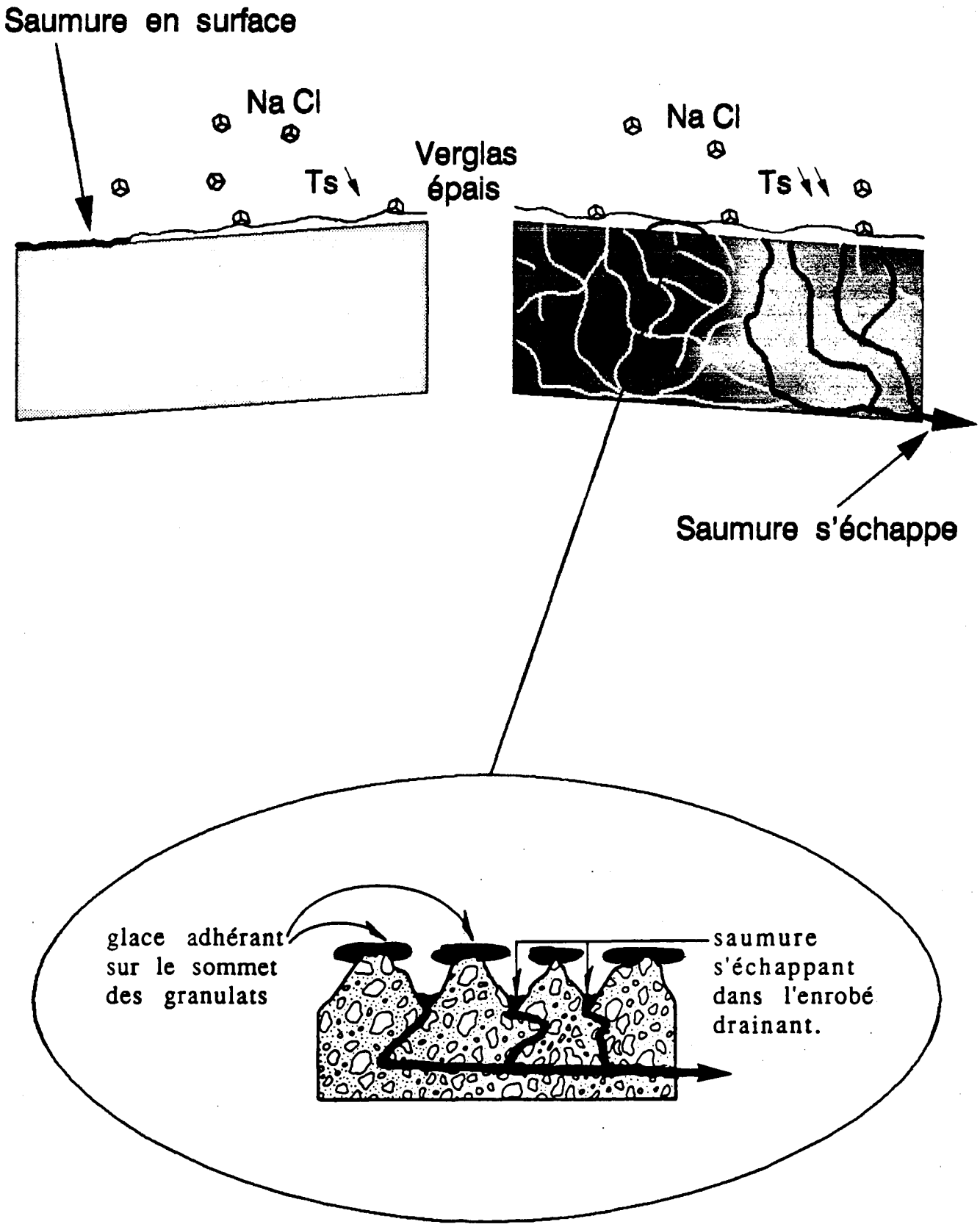
MAIS après s'être assuré que :

*** la protection thermique après dilution est compatible avec la température de surface et son évolution à court terme,**

*** le type de saumure utilisé conserve après dilution une protection thermique suffisante,**

DOSAGE ENVIRON 10 g/m2

accroître ce dosage s'il subsiste une humidité importante
dans les enrobés drainants


Saumure en surface
Na Cl
Ts
Verglas épais
Na Cl
Ts
Saumure s'échappe
glace adhérant sur le sommet des granulats
saumure s'échappant dans l'enrobé drainant.

4.4.3 - La pluie verglaçante ou en surfusion

L'eau en surfusion est une eau restée à l'état liquide à une température négative et qui se transforme en glace lors de son impact au sol. Ce phénomène est rare (de 2 à 3 fois par hiver suivant les régions climatiques).

Ce phénomène peut conduire dans certains cas à des dépôts d'épaisseur centimétrique. Il s'agit toujours de phénomènes exceptionnels qu'aucun traitement préventif ne peut supprimer.

Sur enrobés drainants les difficultés essentielles résident dans :

- **l'impossibilité de maintenir en surface du revêtement la saumure formée, afin d'en épuiser les potentialités fondantes,**

- **la nécessité de trouver une quantité d'énergie importante exigée par la fusion de la glace en forte épaisseur alors que l'enrobé drainant isole du stock géothermique qu'est la chaussée.**

Deux méthodes principales d'attaque de ce type de verglas :

- à l'aide d'un fondant de granulométrie fine qui couvrira la totalité du verglas,

- à l'aide de traitements spéciaux ($CaCl_2$, $MgCl_2$, migaine ...etc)?

Ces traitements seront répétés suivant l'épaisseur de verglas, avec le risque important de recristallisation par "phénomène de sorbetière" en particulier si certains dosages sont excessifs afin de "dégager plus vite".

DOSAGE ENVIRON 30 g/m2 **à répéter à intervalles réguliers** **de façon à éviter le phénomène de sorbetière**

EVITER TOUT EXCES

4.4.4 - Le brouillard givrant

Dépôt de gouttelettes d'eau surfondue à une température inférieure à 0°C sur la chaussée.

Les quantités d'eau se déposant sont généralement faibles, l'épaisseur de verglas est peu importante.

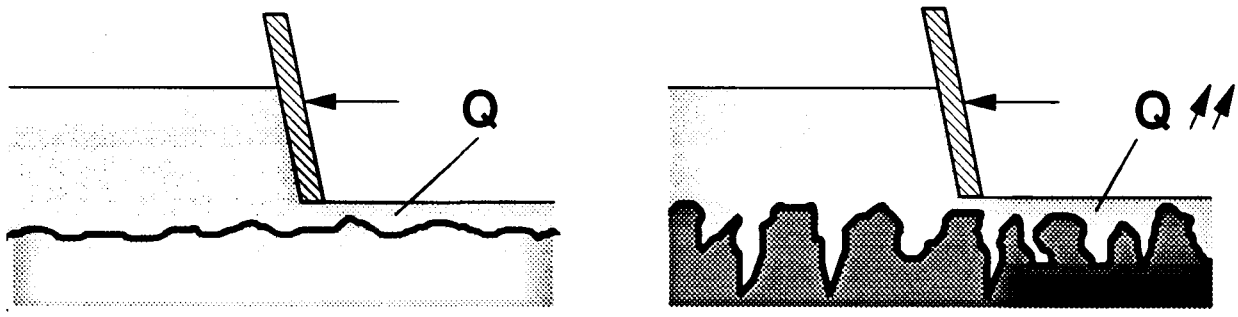
Sur enrobé drainant traité en préventif, le verglas est provoqué par la dilution rapide de la saumure résiduelle de surface.

Deux méthodes possibles d'attaque :

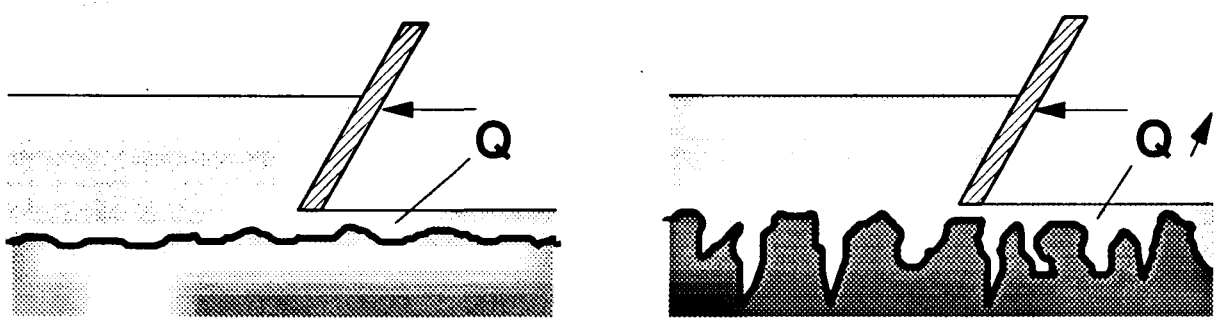
- au sel en grains, de granulométrie plutôt fine, éventuellement moyenne,
- à la bouillie pour son efficacité immédiate.

DOSAGE ENVIRON 20 g/m2

Page laissée blanche intentionnellement



à éviter



conseillé

4.5 - LE CURATIF NEIGE

Le traitement **curatif de la neige** comporte toujours deux actions :

- **le raclage destiné à rejeter sur l'accotement le maximum de neige possible,**

- **le traitement aux fondants (quand la température le permet) destiné à mettre en fusion l'épaisseur résiduelle** laissée sur le revêtement par les outils de raclage.

La qualité du résultat de cette dernière opération est étroitement liée :
- à la présence de trafic qui assure le brassage neige + fondants,
- au type d'outil utilisé, on préférera sur enrobés drainants la lame biaise au rabot qui a tendance à bourrer la macrotexture.

Pour le déneigement avec un outil possédant une lame d'usure métallique, on évitera les chocs à la surface des enrobés drainants, car ceux-ci présentent une certaine fragilité (arrachement de gravillons).

4.5.1 - La neige sèche

Cette neige très froide est plus rapidement interceptée par la surface des enrobés drainants (macrotexture).

Limiter son action au raclage peut devenir insuffisant dans certains cas.

Le traitement aux fondants de ce type de neige est délicat car cela consiste souvent à traiter à des températures < - 8°C.

Deux techniques possibles dans ce cas :

- la bouillie avec éventuellement une saumure de $CaCl_2$ ou $MgCl_2$,

- des traitements spéciaux ($CaCl_2$, $MgCl_2$...etc).

Si le phénomène météorologique prévu doit durer et la température s'abaisser, éviter tout traitement.

Une chaussée blanche ne constitue pas un danger extrême, les usagers adaptent naturellement leur conduite dans ce cas là.

PREFERER LE RACLAGE SI TEMPERATURE TRES BASSE SI SALAGE DOSAGE ENVIRON 30 g/m2 A REPETER SUIVANT LE CAS

4.5.2 - La neige humide

La mise au "noir" est plus longue et consommatrice de fondants car :

- l'épaisseur résiduelle de neige est plus importante à la surface des enrobés drainants (forte macrotexture),
- la "perte" de fondants par la porosité interne est conséquente,
- le travail du mélange neige + fondants par le trafic est réduit aux bandes de roulement (absence de projections latérales).

DOSAGE ENVIRON 30 g/m2 REPETE SUIVANT LE CAS

4.5.3 - La neige mouillée

Il s'agit généralement d'une neige humide ayant évolué par salage ou fusion naturelle.

Sur enrobés drainants :

- l'action de rabotage permet d'éliminer une grande partie de la neige,
- l'épaisseur de neige résiduelle est mise en pression dans la porosité interne du revêtement où elle termine sa fusion,
- la qualité du résultat semble supérieure ici à celle obtenue sur bétons bitumineux.

Suivant l'évolution météorologique (gel nocturne, période de refroidissement attendue) le traitement à l'aide d'un fondant devra tenir compte de la quantité importante en eau (quasi saturation) dans l'épaisseur du revêtement.

CHAPITRE V

QUELQUES PISTES

POUR L'AMELIORATION DE

LA VIABILITE HIVERNALE SUR ENROBES

DRAINANTS

5.1 - L'ORGANISATION DU SUIVI ET DE LA SURVEILLANCE: UNE VOIE A APPROFONDIR

Le traitement hivernal des enrobés drainants semble nécessiter à la fois un nombre plus important d'interventions et des dosages en fondant plus élévés.

De l'analyse actuelle des façons de faire conséquentes aux difficultés réelles rencontrées par les gestionnaires et à la volonté de se protéger à tout prix, il ressort que certaines pratiques se sont instaurées sans que celles-ci puissent techniquement se justifier. Celles-ci conduisent vraisemblablement à une surprotection momentanée coûteuse.

Afin de réinstaurer une logique technique dans la gestion hivernale des enrobés drainants, il convient d'organiser ou réorganiser les différents maillons qui constituent un tel service.

* Le suivi (observation terrain, prévisions météorologiques)
* L'alerte
* La décision (où, quand, comment ?)
* L'intervention (avec quoi, combien ?)
* Le suivi de l'intervention
* L'analyse du résultat

5.1.1 - Le suivi

Il consiste dans un premier temps à rapprocher :

- les **éléments d'observation et d'analyse de l'état du réseau** faits à différents instants (patrouille, matériels de mesure, SAD - VH, etc...),

- avec **les prévisions météorologiques** (Météo France, SMIR ou CDM) de paramètres pertinents, organisés pour une application routière (cf guide méthodologique "Concevoir un bulletin météorologique routier"),

et dans un deuxième temp

- **à prévoir les conséquences sur l'état du réseau des prévisions météorologiques** en intégrant l'ensemble des composantes extérieures (trafic, interventions antérieures, heure, moyens matériels, etc...).

La qualité de ce suivi dépend à la fois :

- de la richesse des observations sur l'état du réseau en combinant les aspects spatio-temporels,

- de la pertinence des paramètres météorologiques prévus.

5.1.2 - L'alerte

Elle est :

- soit le résultat du suivi et de l'analyse météo routière de la situation et conduit généralement à une décision d'intervention préventive,

- soit le produit d'une observation effective d'un phénomène entraînant une perte d'adhérence générale ou localisée sur le réseau, ce qui conduit à une décision d'intervention curative.

5.1.3 - La décision

Issue de l'alerte :

- elle fixe la nature de l'intervention préventive ou curative,

- elle hiérarchise les interventions à réaliser en précisant le lieu d'intervention et son heure, ainsi que les moyens à mettre en oeuvre (matériels, matériaux, technique d'épandage ou raclage, dosage en fondant, circuits, etc...).

5.1.4 - L'intervention

Elle consiste à mettre en oeuvre les moyens techniques définis en rendant compte en permanence, des difficultés rencontrées éventuellement durant cette phase opérationnelle.

5.1.5 - Le suivi de l'intervention

Il s'effectue dans une première phase à partir des informations fournies durant l'intervention.

Cette analyse à chaud permet d'ajuster éventuellement les moyens techniques aux phénomènes rencontrés.

Dans une deuxième phase, ce suivi permet d'évaluer la situation du réseau (ou la qualité du service rendu) et de mettre en oeuvre éventuellement les moyens adéquats pour obtenir le retour à une situation normale.

5.1.6 - L'analyse du résultat

Cette analyse consiste essentiellement :

- à vérifier si les objectifs de qualité visés ont été obtenus de façon optimale (sans excès de moyens),
- à rechercher les causes éventuelles d'un objectif de qualité non atteint afin d'y remédier.

5.2 - L'ADAPTATION DES FONDANTS

5.2.1 - Le fondant idéal pour une application sur enrobés drainants existe-t-il ?

Nature, forme, et méthode d'épandage des fondants

Il est extrêmement difficile de déterminer quel est le fondant qui présente les caractéristiques idéales. **La cinétique complexe des phénomènes qui associent le revêtement de la chaussée, le fondant et le phénomène météorologique à combattre dépend d'un ensemble de conditions variables dans le temps. En toute rigueur, un bilan énergétique s'imposerait.**

Les seuls caractères communs aux fondants, utilisables sur enrobés drainants sont actuellement :

- leur neutralité chimique pour les revêtements,
- leur absence d'insolubles pour éviter tout colmatage des pores,
- leur viscosité suffisamment faible pour ne pas induire de perte d'adhérence entre le pneumatique et le sol.

5.2.2 - Vers une granularité et une forme adaptée aux enrobés drainants

La granularité : Le fondant en grains devrait posséder à la fois :

- une surface spécifique plus importante pour assurer une meilleure couverture des enrobés drainants et une meilleure attaque des verglas,
- une fraction suffisante de plus gros grains afin d'assurer une meilleure rémanence dans le temps.

La forme : Les grains devraient posséder une forme permettant :

- un meilleur écoulement en trémies (traitement plus homogène des surfaces),
- une interception idéale par la macrotexture des enrobés drainants.

5.2.3 - Une viscosité des saumures répandues ou obtenues à la surface adaptée aux enrobés drainants

Les saumures de chlorure de sodium, de calcium et de magnésium possèdent des viscosités croissantes. Leur emploi en bouillie sur enrobés drainants devrait :

- limiter la vitesse de transit horizontal de la saumure,
- maintenir dans les pores,en régime permanent, une frange capillaire plus importante.

Cela assurerait une meilleure protection thermique de l'enrobé drainant (et meilleure conductivité thermique).

5.3 - UNE FORMULATION ET MISE EN OEUVRE DES E.D. RECONSIDEREE ?

Une série de voies d'amélioration des propriétés physiques des enrobés drainants et des techniques de mise en oeuvre peuvent permettre de gommer certains comportements hivernaux spécifiques aux enrobés drainants.

L'accroissement de la conductivité thermique des enrobés drainants :

- la sélection de granulats à forte conductivité thermique,
- la réduction de la porosité non communicante (non active) des enrobés drainants (elle serait d'environ 8 pts sur les 20 à 22 théoriques).

La limitation de l'humidité susceptible d'être mobilisée par le trafic :

- le choix de surfaces de ruissellement à la base des enrobés drainants permettant une évacuation rapide des eaux traversant le squelette de l'enrobé,
- le choix d'une pente de profil en travers supérieure à 2,5 % en particulier sur autoroute (chaussée à 3 voies) de façon à accélérer la vitesse du transit horizontal de l'eau.

5.4 - L'ADAPTATION DES OUTILS DE SUIVI

Les gestionnaires sont actuellement démunis d'outils pour apprécier les paramètres d'état de leur réseau et se forger leur décision.

Les nouveaux capteurs portables de salinité résiduelle :

Le principe de la mesure physique du SOBO 20 est inadapté aux enrobés drainants. De nouvelles voies doivent être explorées pour :

* déterminer la salinité résiduelle à la surface d'un revêtement,

* déterminer éventuellement la quantité d'eau présente dans l'enrobé drainant et son niveau de protection cryogénique.

De nouveaux capteurs routiers pour équiper les stations de mesures routières des SAD - VH :

Les capteurs actuels sont inadaptés tant sur le plan thermique qu'hydrique. La mise au point de capteurs spécifiques pour la gestion des enrobés drainants est à réaliser pour :

* mieux approcher la température de surface des enrobés drainants en particulier en régime transitoire,

* mieux approcher les états de surface des enrobés drainants (mouillage, givrage...etc),

* appréhender l'humidité à la base de l'enrobé drainant,

* déterminer le niveau de protection cryogénique de l'humidité piégée par le revêtement.

Les méthodes de pose devront être simultanément revues afin de réduire les conséquences du scellement des capteurs dans le fonctionnement des enrobés drainants.

De nouvelles méthodes de traitement, des modèles adaptés aux enrobés drainants.

La connaissance de nouveaux paramètres d'état des enrobés drainants devrait permettre de nouvelles analyses plus fines de leur comportement hivernal.

POUR EN SAVOIR UN PEU PLUS

SUR LE SUJET

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Documents pédagogiques : Edition SETRA

* JE SALE MOINS - JE SALE MIEUX

* VERGLAS.....MODE D'EMPLOI

Note d'information et documents techniques : Edition SETRA

* LES ENROBES DRAINANTS
  Note N°40 avril 88

* LES FONDANTS CHIMIQUES : CHOISIR UN SEL DE DENEIGEMENT Note N°50 juin 89.

* LE COMPORTEMENT PARTICULIER DE CERTAINES SURFACES ROUTIERES
  N° 67 avril 91.

* GUIDE METHODOLOGIQUE : "CONCEVOIR UN BULLETIN METEOROLOGIQUE ROUTIER"
  avril 91.

NORME NFP 98 - 180 : Edition AFNOR
Service hivernal
Chlorure de sodium utilisé comme fondant routier.

Ce document est propriété de l'Administration ; il ne pourra être utilisé ou reproduit,
même partiellement, sans l'autorisation du SETRA ou du LCPC
© 1993 SETRA - Dépôt légal Octobre 1993 - N° ISBN : 2-11.085730-7

Ce guide pédagogique explique de façon détaillée le comportement hivernal des enrobés drainants.

Ces revêtements ont un comportement thermohydrique très spécifique qui rend délicat leur suivi et leur traitement pendant l'hiver. La qualité de la viabilité offerte à l'usager dépend donc d'une bonne compréhension des phénomènes et de l'analyse fine des situations météo-routières.

Ce document, qui comprend de nombreux croquis, s'adresse principalement à ceux qui doivent assurer une formation sur ce sujet.

Ce classeur fait partie d'une collection qui comprend :

. Saler moins, saler mieux
. Verglas, mode d'emploi.

This guide explains in detail the winter behaviour of porous asphalts.

These surface courses have a very specific thermohydrous behaviour that makes tricky their follow-up and their treatment in winter. So the road practibility depends on a good understanding of the phenomenons, and on a smart analysis of the road-weather conditions.

This document, which holds numerous sketches, applies especially to those who must teach this subject.

This binder is part of a series which holds :

. Saler moins, saler mieux
. Verglas, mode d'emploi.

Ce document est disponible sous la référence D 9345
• *au bureau de vente des publications du SETRA*
46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92223 Bagneux Cedex - FRANCE
Tél. : (1) 46 11 31 53 et 46 11 31 55 - Télécopie : (1) 46 11 31 69 - Télex : 632263
• *au service IST - Publications du LCPC*
58, boulevard Lefebvre - 75732 Paris Cedex 15 - FRANCE
Tél. : (1) 40 43 52 26 - Télécopie : (1) 40 43 54 98 - Télex : LCPARI 200361F

Prix de vente : 250 F